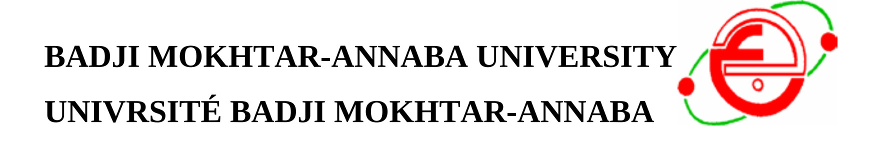
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



جامعة باجي مختار- عنابة

Année 2011

Faculté des Sciences de la Terre
Département de Géologie

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

THÈME

“ETUDES DES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQES DES EAUX DE SURFACE,CAS DU BARRAGE DE AIN ZADA WILAYA DE BORDJ BOU-ARRERIDJ”. (NORD-EST ALGÉRIEN)

Option: Ingénierie des ressources en eau (Hydrogéologie)

Présenté par

MEBARKIA A^bd El-Hafid
Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie, Université de Constantine

Directeur de mémoire: DJABRI Larbi Professeur (U.B.M. Annaba)

DEVANT LE JURY

Président	**: Pr HANI Azzedine**		**UBMA, département de géologie.**
Examinateurs:	**Dr DJORFI Saâdane**	**MCA**	**UBMA, département de géologie.**
	Dr Djemili Lakhadar	**MCA**	**UBMA, département d'hydraulique.**

REMERCIEMENTS

REMERCIEMENTS

Au nom de Dieu clément et miséricordieux

Au moment où je termine mon mémoire, je n'oublie pas d'adresser mes sincères remerciements à notre Dieu le grand créateur qui m'a guidé dans mes pas pour achever ce travail et d'arriver à ce niveau.

Nombreuses sont les personnes qui m'ont aidées à réaliser ce travail, a qui je dois avec plaisir, présenter mes remerciements :

*-Ce travail n'a pu voir le jour, sans l'aide et les nombreux conseils de mon encadreur"**Mr.Le Professeur DJABRI Larbi**" qui, après avoir accepté de prendre la direction du mémoire, il m'a laissé bien souvent gérer mon travail tout en apportant les critiques et conseils nécessaires lors de son élaboration. Je le remercie vivement pour l'intérêt qu'il a apporté à ce travail, pour ses précieux conseils, sa disponibilité et sa sympathie.*

*à **Mr.Le Professeur BOUDOUKHA Abderrahmane**, pour son soutien moral, pour sa gentillesse et ses conseils judicieux.Il n'a pas ménagé son aide, je lui en suis profondément reconnaissant.*

-J'adresse également mes sincères remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer se modeste travail :

** **Mr HANI. A.** professeur de l'université de Annaba qui a bien voulu me faire l'honneur de juger ce travail, et a accepté de présider le jury.*

Mr **CHAFFAI. H. maître de conférence de l'université de Annaba, Mr **DJORFI.S.** maître de conférence de l'université de Annaba, Mr **DJEMILI .L.** maître de conférence de l'université de Annaba pour avoir bien voulu lire, commenter et débattre mon travail.*

*- Je tiens à remercier Mr le Directeur **ZENATI.H.** et le personnel de l'A.N.R.H de Constantine, et de l'antenne de Bordj Bou-Arreridj en particulier mon ami Mr **DEBOUCHA MADANI**, le Directeur **BENABID.A.** et le personnel de l'A.N.B.T du barrage de Ain Zada ,Mr le directeur **HAMMAM.A.** et tous le personnel de la D.H.W. de Sétif en particulier Mr **LAMRI SATTA**, qui m'a aidé, et le personnel de la D.H.W de Bordj Bou-Arreridj en particulier Mr **BAGHORA.N**, Mr **ARRES.D**, Mr **MEBARKIA.Y.***

*- Je tiens à remercier aussi le personnel de l'A.D.E de Sétif en particulier Mr **AMROUNE** le directeur de la zone ; Mr **BOULHIA** le directeur de l'unité de Sétif, Mm **DHELIS** la directrice de laboratoire régional de Sétif et particulièrement Mr **BENDJABELLAH.M** le responsable de laboratoire de la station du traitement du barrage, qui m'a aidé beaucoup.*

*- Je tiens à remercier spécialement mon cousin **Mr. Le docteur MEBARKIA AMAR** pour ses aides précieuses.*

- Mes remerciements vont à tous les enseignants du département de géologie de l'université de Annaba, et les enseignants de la faculté de l'architecture et des sciences de la terre de l'université de Sétif.

- Je remercie également tous mes amis de la promotion magister « ingénierie des ressources en eau »

" Mes sincères remerciements s'adressent également à ma famille, mon père, ma mère et mes frères et soeurs qui n'ont pas hésité de m'aider et de m'encourager moralement et matériellement jusqu'à la fin de cet ouvrage."

Enfin, je remercie toute personne, qui de prés ou de loin a généralement contribuée à l'élaboration de ce travail.

HAFID.



DÉDICACE

DÉDICACE

A :

- Mon père et ma mère

- Mes frères et mes sœurs

- Tous les gens que j'aime et qui m'aiment

Je dédie ce travail . . . .

MEBARKIA Abd EL-HAFID.

RESUME

L'Oued Boussellam constitue une des principales ressources en eau des hauts plateaux et de l'Est Algérien. Cependant il est soumis à une pollution anthropique anarchique et naturelle.

Le sous-bassin de Boussellam amont (NE Algérien) couvre une superficie de 1785km^2 et alimente le barrage de Ain Zada dans la région de bordj Bou-Arreridj. Ce dernier approvisionne en eau les chefs lieux de deux wilayas des hauts plateaux Sétif et BBA dont plusieurs agglomérations. Le sous-bassin de Boussellam amont reçoit les rejets urbains et ceux issus de plusieurs activités industrielles (Zone industrielle de Sétif (centaine d'usines), de Ain Oulmène et Mezlougue etc.…) sont utilisées entre autres à l'irrigation de quelques périmètres agricoles, il est contrôlé par le barrage de Ain Zada.

Par sa géomorphologie, son climat semi-aride, sa vocation agricole et par la présence de plusieurs industries, la région d'étude est soumise à un degré de vulnérabilité assez important, encouragé par les rejets des eaux usées (domestique, industrielle et d'irrigation). Dès lors, ces facteurs exposent les eaux superficielles à une pollution sévère.

Dans le but de connaître la qualité des eaux de surface du barrage de Ain Zada, une série d'échantillonnage a été faite par le service étatique concerné qui est l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique, (A.N.R.H de Constantine) sur une période de 23 ans d'observations.

Les analyses chimiques qui ont été réalisées, nous a permis d'établir des courbes de variation des concentrations des éléments chimiques au niveau de la cuvette du barrage, et de constater leurs évolutions durant toute cette période d'observation.

Les résultats d'analyses de ces courbes, a prouvé la présence d'éléments (ex: métaux lourds) au niveau des eaux du barrage à des concentrations différentes indiquant la pollution des eaux par ces éléments.

Et même des outils de traitement de données ont été utilisés tels que : les diagrammes des représentations graphiques des résultats, l'ACP, etc.…, pour voir l'évolution temporelle des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage d'une part et d'estimer les indices de pollution organique (I.P.O) d'autre part. Il est à noter que la détermination de ces derniers a montré que les eaux sont bonnes a modérées pour les premières années de la mise en service du barrage (1986 a 1991) et fortement polluées pour les derniers années, due à l'immense de rejets urbains, industriels et agricoles.

Cette pollution présente une menace majeure a l'entourage de la région, et notamment un grand risque sur la santé et la vie des habitants.

Afin d'estimer le pouvoir auto-épurateur de l'Oued Boussellam et l'aptitude de ses eaux à l'irrigation, on constate que la représentation des analyses des eaux de la cuvette du barrage de Ain Zada qui est la synthèse des eaux de Oued Boussellam pendant cette période d'étude sur le diagramme de Wilcox sont regroupées toutes dans la classe C3S1, ce sont des eaux à forte salinité mais à faible danger d'alcalinisation, l'eau de la région d'étude est de bonne qualité, ne présente aucun risque sur l'irrigation en domaine agricole.

Mots clés : *Oued Boussellam, barrage de Ain Zada, NE algérien, Pollution, climat semi-aride, I.P.O, Irrigation,*

ABSTRACT

Boussellam wadi is considered as the most important resources of water in Eastern Algerian hills but it faces chaotic (ararchic) pollution on bath sides natural and industrial.

The under basin of Boussellam wadi (NE Algeria) covers an area of 1785km^2, and feeds the Ain Zada dam in the region of Bordj Bou-Arreridj. The latter provides bath the wilaya of Sétif and water to several cities and Bordj Bou-Arreridj with fresh water. Boussellam wadi receives urban and industriel

By its geomorphology, its semi-arid climate, its purely agricultural vocation and the presence of several industries, the study area is subject to a degree of vulnerability rather important, encouraged by discharges of wastewater (domestic, industrial and agricultural).

In order to know the quality of the water of Ain Zada, many researches have been made by the concerned service which is the National Agency of Hydrolic Resources constantine for 23 years of observations.

These chemical analyses that had been done allowed us to make graphs to study the different variations of chemical elements of dam's water. they also permitted us to study its evolution during the period of observation.

The results of study shows that the water of Ain Zada contains heavy minerals wich means that it is polluted with these elements.

In addition to this, the graphs and diagrms the, different results and the A.C.P allows us to study all the time evolutions of physico-chemical parameters of water, it also allows us to estimate the degree of organic pollution (I.P.O) which showed that water's quality was moderate and good in the first years of using water (1986-1991) but it becomes very polluted during the last years because of garbage-sewage….etc.

The danger of pollution may lead to great threats in this region especially on people's health and life.

Finally, we can say that the water of Ain Zada has a powerful, estimated and not dangerous role in irrigation this is proved by the mentioned recent studies that shows that Oued Boussellam's water is very salty and it has less dangers on the back ground rate. Its water is of a good quality and there is no danger in using it in irrigation

Keywords: *Boussellam wadi, Ain Zada dam, NE Algeria, Pollution, I.P.O, Irrigation.*

ملخص:

يعتبر وادي بوسلام من بين أهم الموارد المائية في الهضاب العليا والشرق الجزائري، إلا أنه معرض للتلوث العشوائي سواءا كان طبيعيا أو اصطناعيا.

إن الحوض الهيدروغلرافي لبوسلام الأعلى (الشمال الشرقي للجزائر) يغطي مساحة تقدر بـ: 1785 كلم^2 وهو الذي يغذي سد عين زادة الذي يقع في ولاية برج بوعريريج .هذا الأخير يمون بالمياه الصالحة للشرب مقري ولايتي الهضاب العليا سطيف و برج بوعريريج مع عدة تجمعات سكانية أخرى. إن حوض بوسلام يستقبل كل التصريفات ،الحضرية و كل البقايا الناتجة عن تعداد النشاطات الصناعية (المنطقة الصناعية سطيف (مئات المصانع)،عين ولمان و مزلوق....إلخ) و كذا التي تستعمل لسقي عدة محيطات فلاحية ، و هو مراقب بواسطة سد عين زادة.

نظرا لجيومرفولوجيته، لمناخه الشبه الجاف ، للاختصاص الزراعي المحض للمنطقة و لوجود العديد من الصناعات ، تتعرض المنطقة المدروسة إلى حد كبير لقابلية الإصابة بالتلوث و ذلك بسبب تصريف المياه القذرة (المنزلية ,الصناعية و الزراعية) التي تعرض هذه المياه السطحية لتلوث حاد

لغرض معرفة مدى نوعية المياه السطحية لسد عين زادة ، أجريت مجموعة من العينات من طرف المصالح المعنية وهي الوكالة الوطنية للموارد المائية (قسنطينة) و لمدة 23 سنة من الملاحظة.

التحاليل الكيميائية التي أجريت سمحت لنا بإنجاز بيانات لدراسة تغيرات تراكيز العناصر الكيميائية على مستوى مياه السد ، و دراسة تطوراتها الزمانية خلال مدة الملاحظة هذه.

نتائج التحاليل لهذه البيانات تأكد وجود عناصر(مثل:المعادن الثقيلة) على مستوى مياه السد بتراكيز مختلفة تبين تلوث المياه بهذه العناصر .

كما أن طرق المنتهجة لمعالجة هذه المعطيات التي إستعملت ، كجداول الإدراجات البيانية للنتائج ، و طريقة الـACP ...إلخ، هذا العمل مكننا كذلك من دراسة التطورات الزمانية للمعايير الفيزيوكميائية لمياه السد من جهة، و تقدير مؤشرات التلوث العضوي (I.P.O) من جهة أخرى، و الذي بين هذا الأخير بأن نوعية المياه حسنة إلى متوسطة خلال السنوات الأولى من إستعمال السد (1986 إلى 1991) ، غير أنه عرف تلوث كبير خلال السنوات الأخيرة بسبب الكميات الكبيرة للتصريفات الحضرية ، الصناعية و الفلاحية.

هذا التلوث ينبأ بوجود تهديدات كبيرة لمحيط كل المنطقة ، و الأدهى خطر كبير على صحة و حياة السكان.

في الأخير و لتقدير قوة التنظيف الذاتي لوادي بوسلام و قابلية السقي بهذه المياه ,بينت بيانات تمثيل التحاليل لمياه سد عين زادة الذي يعتبر خلاصة مياه وادي بوسلام خلال فترة الدراسة هذه على التمثيل البياني لويلكوس بأن نقاط تمثيلها تجمعوا كلهم في الخانة C3S1 من البيان ،فهي مياه ذات ملوحة عالية و أقل خطورة بالنسبة للقاعدية ، مياه المنطقة ذات نوعية حسنة ، و لا يوجد أي خطر بالنسبة لإستعمالها في السقي الفلاحي.

الكلمات المفتاحية: وادي بوسلام ،سد عين زادة ، شمال-شرق الجزائر ، التلوث ،مناخ شبه جاف ، مؤشر التلوث العضوي I.P.O ، السقي.

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE: III Etude Climatologique du Sous-bassin Versant de Boussellam amont.

Chapitre IV : Caractéristiques hydrotechniques du barrage de Ain Zada.

CHAPITRE:V Etude Hydrochimique

Chapitre VI/Pollution Organique

Conclusion générale et Recommandations.

LISTE DES ABREVIATIONS

ABREVIATIONS	***SIGNIFICATIONS***
A.B.H	*Agence des bassins hydrographiques.*
A.C.P	*Analyse en composante principale.*
A.D.E	*Algérienne des eaux.*
A.E.P	*Alimentation en eau potable.*
A.N.B.T	*Agence nationale des barrages et des transferts.*
A.N.R.H	*Agence nationale des ressources hydrauliques.*
A.H.S	*Algérois-Hodna-Soummam.*
°C	*Degré Celsius.*
Ca^{2+}	*Calcium.*
Cl^{-}	*Chlorure.*
D.H.W	*Direction d'Hydraulique de la wilaya.*
Dj	*Djebel.*
D.U.H	*Direction d'urbanisme et d'habitat.*
D.P.A.T	*Direction de planification et d'aménagement du territoire.*
D.S.A	*Direction service agricole.*
ha	*Hectare.*
Hm	*Hectomètre.*
Hm^3	*Hectomètre cube.*
I.H.E	*Institut d'hygiène et d'épidémiologie.*
I.P.O	*Indice de pollution organique.*
km	*Kilomètre (unité de longueur ou distance).*
km^2	*Kilomètre carré (superficie).*
L/j/habitants	*Litre par jour par habitant.*
L/s	*Litre par seconde.*
m	*Mètre. (unité de longueur ou distance).*
mm	*Millimètre.*
m/s	*Mètre par seconde.*
m^2	*Mètre carré.*
m^3	*Mètre cube.*
m^3/j	*Mètre cube par jour.*
méq/L	*Milliéquivalent par litre.*
mg/L	*Milligramme par litre.*
Mg^{2+}	*Magnésium.*
Mm^3	*Million de mètre cube.*
NH_4^+	*Ammonium.*
NO_2^-	*Nitrites.*
NO_3^-	*Nitrates.*
O.M.S	*Organisation Mondiale de la Santé.*
O.N.M	*Office National de la Météorologie.*
O_2	*Oxygène dissous.*
PO_4^{3-}	*Phosphate.*
R.N.5	*Route Nationale n°5.*
S.A.R	*Sodium absorption ratio.*
S.A.U	*Superficie agricole utile.*
S.T.E.P	*Station de traitement d'eau usée et d'épuration.*
SO_4^{2-}	*Sulfates.*

LISTE DES FIGURES



LISTE DES TABLEAX

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION :

L'eau est omniprésente sur la terre. Sans elle, la vie humaine serait impossible.

Elle est nécessaire à la vie animale et aux activités sur terre. L'eau douce, est essentielle à nos besoins, elle ne représente que 1% du total des mers et des océans présents sur terre. Elle est donc un capital limité et fragile car menacée par une consommation croissante et par de multiples pollutions.

Elle est donc une ressource naturelle indispensable, non renouvelable, il faut impérativement la préserver.

L'importance de l'eau dans l'économie humaine ne cesse de croître et l'approvisionnement en eau douce devient ainsi de plus en plus difficile, tant en raison de l'accroissement de la population et de son niveau de vie que du développement accéléré des techniques industrielles modernes. Sous la pression des besoins considérables de la civilisation moderne, on est passé de l'emploi des eaux de sources et de nappes à une utilisation de plus en plus poussée des eaux de surface.

L'Algérie par son climat se trouve confronté à une rareté et à une distribution irrégulière des pluies dans le temps et dans l'espace.
Néanmoins, ces ressources en eau, aussi bien de surface que souterraines, constituent l'une des principales richesses sur lesquelles repose la prospérité de ce pays dans l'avenir, ainsi que la réussite de son développement économique, agricole, industriel et social.

Donc l'insuffisance de l'eau nous oblige à protéger toutes les ressources disponibles contre toutes pollutions probables; Et à l'utiliser d'une manière rationnelle et scientifique, et ce, pour satisfaire les besoins des différents secteurs (AEP, l'industrie, l'irrigation).

Par ailleurs, pour pallier au déficit observé dans l'exploitation des eaux souterraines considérées comme potables, la mobilisation des eaux superficielles par la construction de barrages et de retenues collinaires, s'avère indispensable.

Cependant, la durée de vie de ces infrastructures de stockage et leur exploitation peut être réduite principalement par l'érosion climatique ou l'action humaine qui rend le volume stocké impropre à la consommation dans le cas d'une pollution aiguë conséquence d'une action irréfléchie

Comme le barrage de Ain zada (wilaya de Bordj Bou-Arréridj) a été récemment construit (1986) et aucune étude sérieuse n'a été faite sur la qualité des eaux mobilisées à partir de Oued Boussellam. Une caractérisation rigoureuse de ces eaux s'avère indispensable ;

Sachant que, ce barrage alimente actuellement les chefs lieu des deux wilayas : Sétif et Bordj Bou-Arréridj ainsi que, les daïra d'El-Eulma, Ain Arnet et Bougaa et plusieurs commune c'est-à-dire : la majorité des villes et des agglomérations des hauts plateaux, alors qu'il a été initialement destiné à l'irrigation et ce par manque d'eau dû à la sécheresse et à la vidange totale des sources et des forages.

PROBLEMATIQUE :

Une attention particulière doit être accordée à ce barrage vu qu'il constitue actuellement la seule ressource d'eau potable pour les deux wilayas des hauts plateaux de Sétif et Bordj Bou-Arréridj et ces environs d'une population qui dépasse les deux millions habitants.

Ainsi il est impératif de répondre aux questions suivantes :

1. L'eau du barrage est-elle potable ?
2. Dans quelle classe se situe son degré de potabilité ?
3. Quel est le risque encouru par les citoyens à court et long terme par la consommation de cette eau et son impact sur l'agriculture ?

Pour répondre à la problématique posée, un suivi de la qualité des eaux superficielles de la cuvette du barrage de ain zada a été réalisé durant toutes la période de l'année 1988 a l'année 2010 ,Dans ce but, plusieurs outils chimiques et statistiques ont été exploités afin d'interpréter les données obtenues par l'ANRH, Ces résultats sont développés dans le présent travail à travers six chapitres :

- Le **premier chapitre** englobe des généralités de la région, la situation géographique et les caractéristiques générales du sous-bassin versant de Boussellam amont, ainsi les différentes activités des secteurs économiques dans le bassin.

Le **deuxième chapitre** est consacré à l'étude du contexte géologique et structural de la région. Nous montrons la géologie des hauts plateaux setifiens et les accidents tectoniques qui les affectent, basée essentiellement sur les travaux effectués par J.M VILA en 1980.

Le **troisième chapitre** est consacré à définir à l'aide d'une étude hydrologique et hydroclimatologiques, qui montre que la région soumise à un climat semi-aride avec deux périodes distinctes, l'une chaude et sèche et l'autre froide et humide.

Le **quatrième chapitre** a pour objectif de définir les caractéristiques hydrotechniques de la cuvette du barrage de Ain zada et d'estimer le volume annuel a partir des paramètres des bilans hydriques, et d'avoir une idée sur l'envasement de la retenue a partir d'un levé Bathymétrique du barrage de Ain zada en 2004.

Le **cinquième chapitre**, partie essentielle de ce mémoire, est consacré à l'étude hydrochimique, afin d'effectuer un suivi quantitatif et qualitatif des différents éléments chimiques et d'étudier leur comportement au sein du barrage, l'évaluation des éléments polluants, leur sources et leur taux pour mettre en évidence la qualité des eaux du barrage

Un suivi quantitatif des différents paramètres physico-chimiques (T°, CE, pH, MES, RS et O2), des éléments minéraux (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Cl^{-}, SO_4^{2-} et HCO_3^{-}), des nutriments NO_3^{-}, NO_2^{-}, NH_4^{+}, PO_4^{3-}, DCO, DBO_5 , des éléments métalliques (ETM) : Zn^{+2}, Fe^{+2}, Mn^{+2}, Cu^{+2}, Pb^{2+}.leur évolution pendant cette période d'étude , faciès chimique et l'origine de la minéralisation.

Le **sixième chapitre** qui est le dernier, a pour objectif de déterminer les contraintes qualitatives (différents types de pollution, leurs origines et leurs apports dans les eaux du barrage). l'effet polluant de quelques rejets anthropique, Agricole et des entreprises de la zone industrielle de Sétif surtout en éléments traces métalliques.

- L'altération de la qualité des eaux par l'utilisation de trois méthodes (IPO, IHE et Lisec-index) et sa conséquence sur les eaux et donc la vie au sein de la cuvette du barrage

La conséquence quasi immédiate de la pollution organique de ces eaux, tend à diminuer la teneur en oxygène dissous qui engendre une eutrophisation, Et enfin, l'aptitude de ces eaux à l'irrigation.

Le présent travail se termine par une conclusion générale faisant sortir les résultats de l'étude et par des recommandations et perspectives à prendre en considération.

CHAPITRE : I

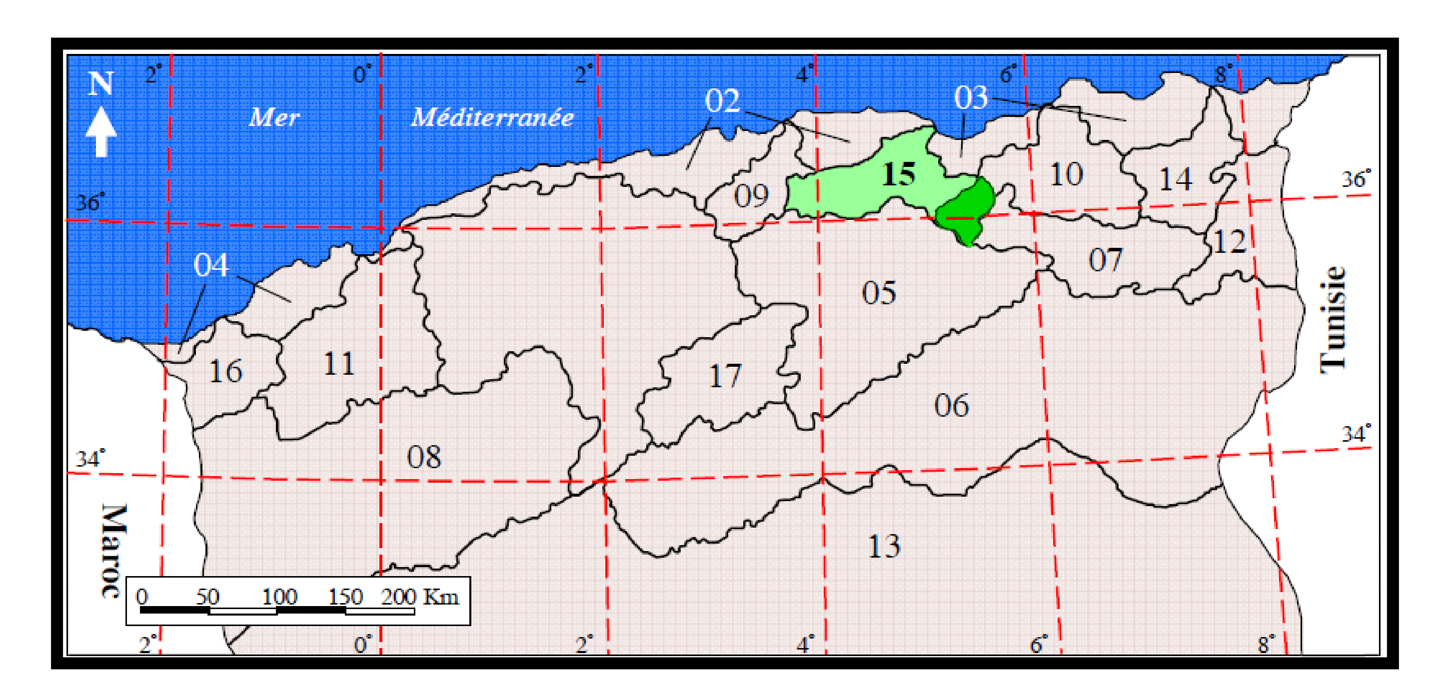
Situation géographique et caractéristiques générales du sous-bassin versant de Boussellam amont

CHAPITRE : I

Situation géographique et caractéristiques générales du sous-bassin versant de Boussellam amont

Introduction :

La région d'étude se situe dans la partie Nord-Est d'Algérie , elle appartient au bassin de la Soummam (figure.1) qui est l'un des plus grands bassins hydrographiques en Algérie , avec une superficie de 9125 Km^2, soit 19 % de la superficie totale du grand bassin Algérois-Hodna-Soummam (AHS), il s'étend sur l'Est de l'Algérois à 100 Km au Sud de la capitale Alger, sa position exacte est définie par l'espace se trouvant entre les méridiens 3°.38 et 5°.38 et les parallèles 35°.45 et 36°.45, il est limité par les chaînes montagneuses du Djurdjura et ses contreforts qui s'étendent jusqu'à la mer au Nord, les contreforts du mont du Hodna au Sud, les chaînes des Babors et le plateau de Sétif à l'Est, le plateau de Bouira à l'Ouest.



Les grands bassins de l'Algérie

(01).Cheliff (02). Côtier Algérois (03). Côtier Constantinois (04). Côtier Oranais (05). Chott Hodna (06). Chott Melrhir (07). H.Plateaux Constantinois (08).H.Plateaux Oranais (09). Isser (10).Kebir Rhumel (11).Macta (12). Medjerda (13). Sahara (14). Seybouse (15). Soummam (16).Tafna (17). Zahrez

Figure.01:Situation géographique du grand bassin de la Soummam (N°15 D'après ABH) au Nord de l'Algérie.

Le réseau hydrographique du bassin de la Soummam compte 09 principaux oueds lesquels sont : Azerou, Ziane, Ftaissa, O'kriss, Bouktou, Eddous, El Main, Boussellam, et Soummam, totalisent une longueur de 726 Km dont le plus court est de 23 Km (O'kriss) et le plus long de 226 Km (Soummam).

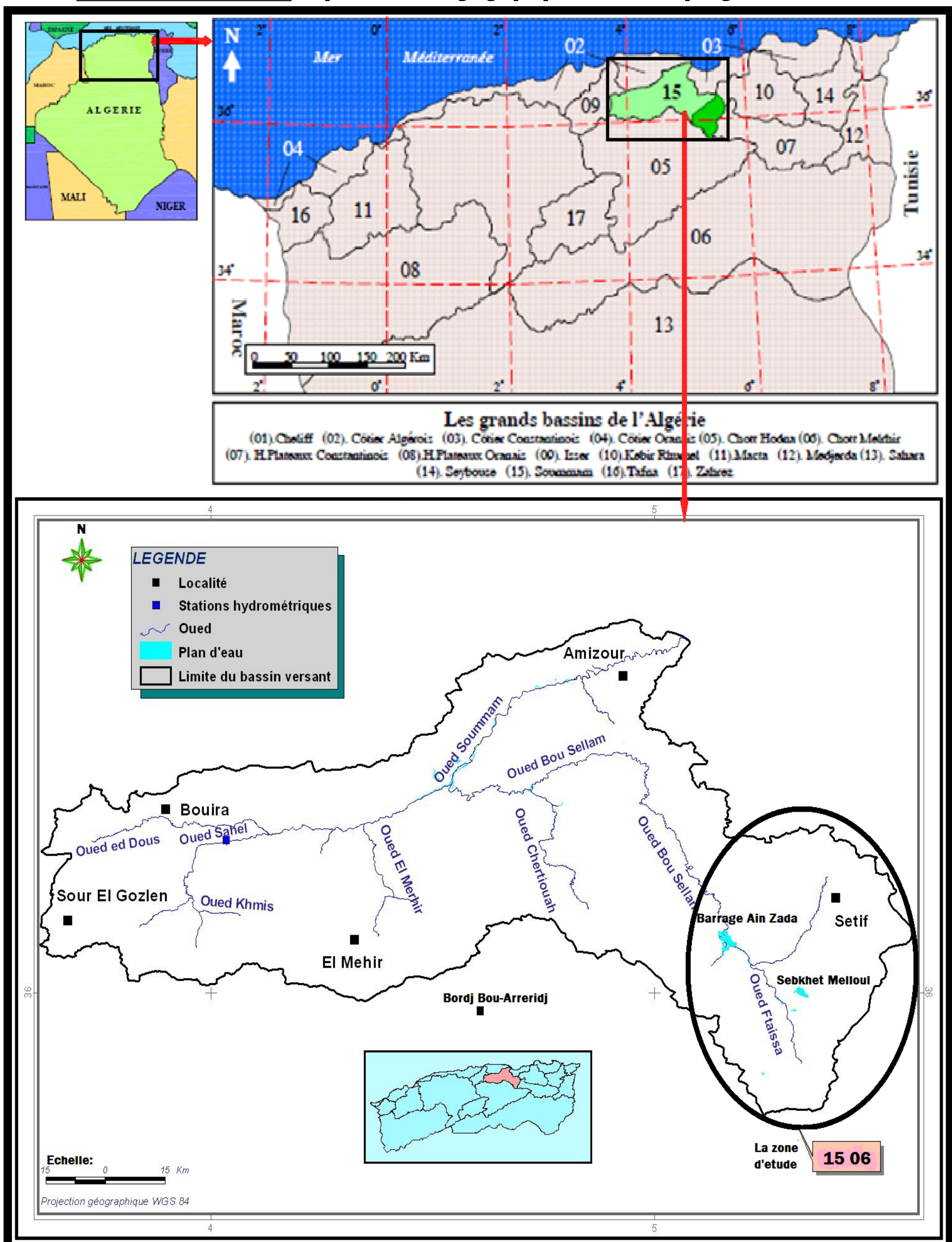


Figure.02 : Carte de situation géographique de la zone d'étude.

I. Description du sous bassin versant de Boussellam amont :

I.1. Situation géographique :

L'oued Boussellam est le principal affluant du Soummam avec une longueur de 150 Km et une surface de 5010 Km^2, leur bassin est subdivisé en quatre sous bassin (le Boussellam amont (**C**/ 15 06, **S**/1785 Km^2), le Boussellam moyen (**C**/ 15 07, **S**/1234 Km^2), El Main (**C**/ 15 08, **S**/930 Km^2), et le Boussellam aval (**C**/ 15 09, **S**/1061 Km^2) (figure.03).

C : Code du sous bassin selon l'ABH, **S** : Surface du sous bassin.

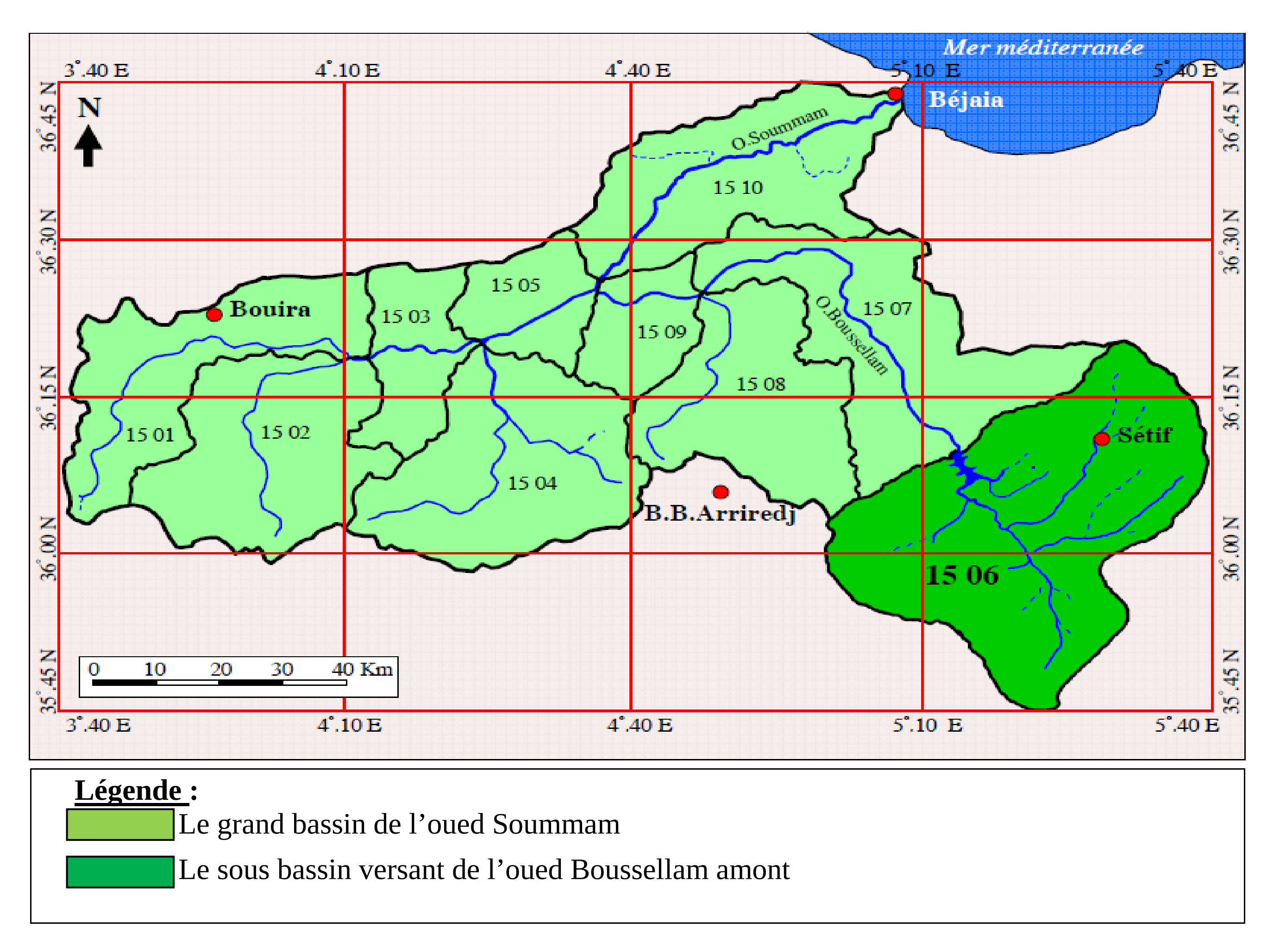


Figure : 03. Situation géographique du sous-bassin versant de Boussellam amont.

Le sous bassin du Boussellam amont qui fait l'objet de cette étude (figure:04) contient 35 % de la surface du grand Boussellam (1785 Km^2) de code (15 06) d'après l'Agence des Bassins Hydrographiques (ABH), et une longueur de 65 Km, il situe entre le grand bassin Constantinois à l'Est, celui de Hodna au Sud, et le sous bassin de Boussellam moyen à l'Ouest, il est limité :

- Au Nord par Dj.Medjounes, Dj Aissel, Dj Megris, et Dj Matrona.
- A l'Est par Kef Boudjemline, Dj. Merouane, Dj. Youssef, et Dj.Sekrine.
- Au Sud par Dj. Hassane, Dj.Sattor, et Kef Della et Djebel Boutaleb.

Le sous bassin du Boussellam amont s'étend sur les haut- plateaux sétifiènnes avec une superficie de 1785 Km^2, et inscrit dans le territoire de deux wilayas une grande partie Ouest de la wilaya de Sétif et une partie Est de la wilaya de Bordj Bou-Arreridj, elle est située au Nord-est de l'Algérie.

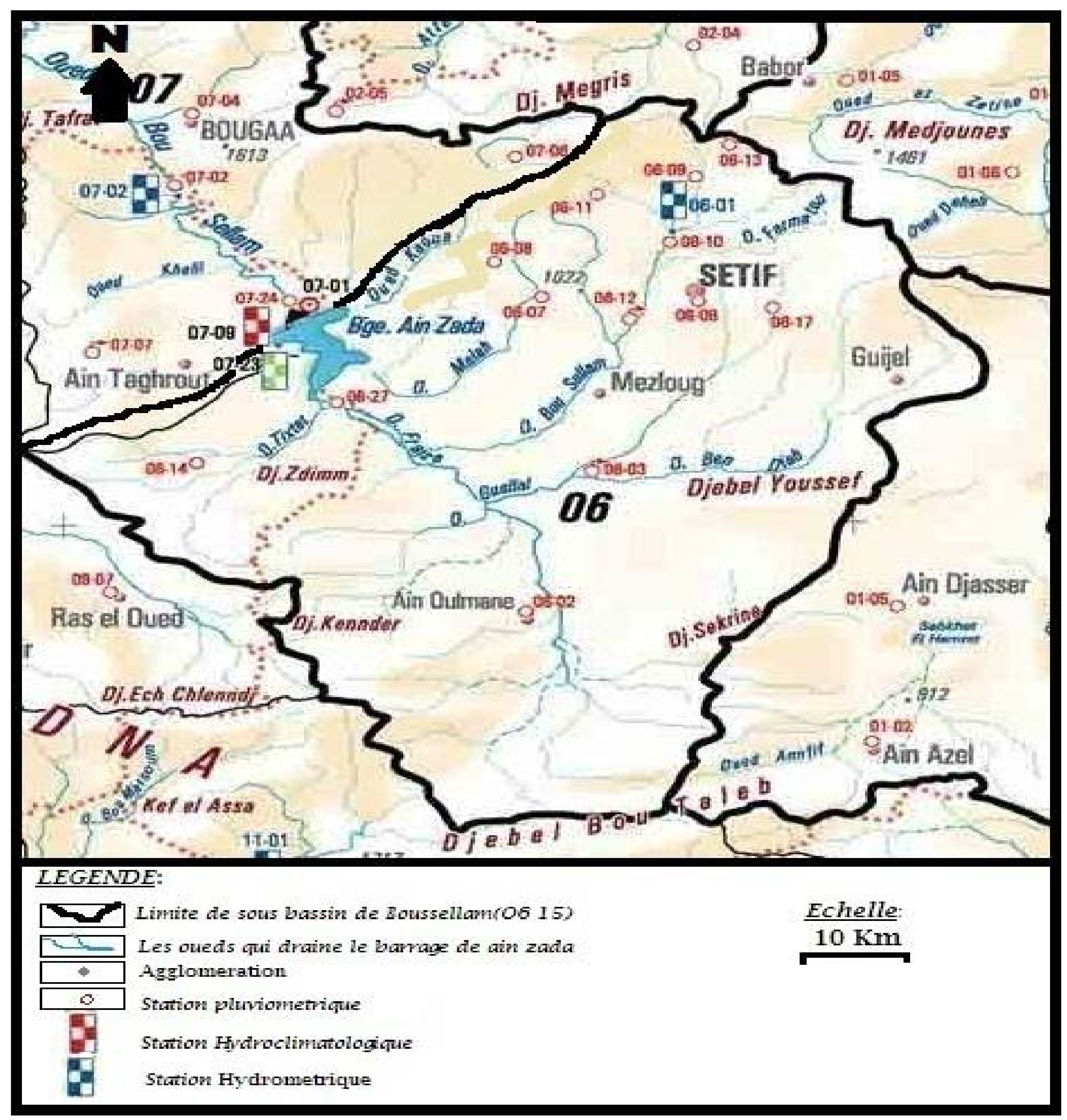


Figure.04: Carte géographique du sous-bassin versant de Boussellam amont (06.15)(ANRH).

Le bassin de la zone d’étude est contrôlé par le barrage de Ain zada qui se situe à cheval sur les Wilayas de Sétif à 25 km d’Ouest et à 35 km de l’Est de Bordj Bou-Arreridj, mais dépend administrativement de la Wilaya de Bordj Bou-Arreridj (figure.05). Il est implanté dans la commune de Ain Taghrout sur Oued Boussellam (direction Sud-Nord) au niveau de la jonction avec l'Oued Ain-Taghrout à l'ouest, l'Oued Kharoua au Nord-Est et l'Oued Malah au Sud-Est (figure.06).

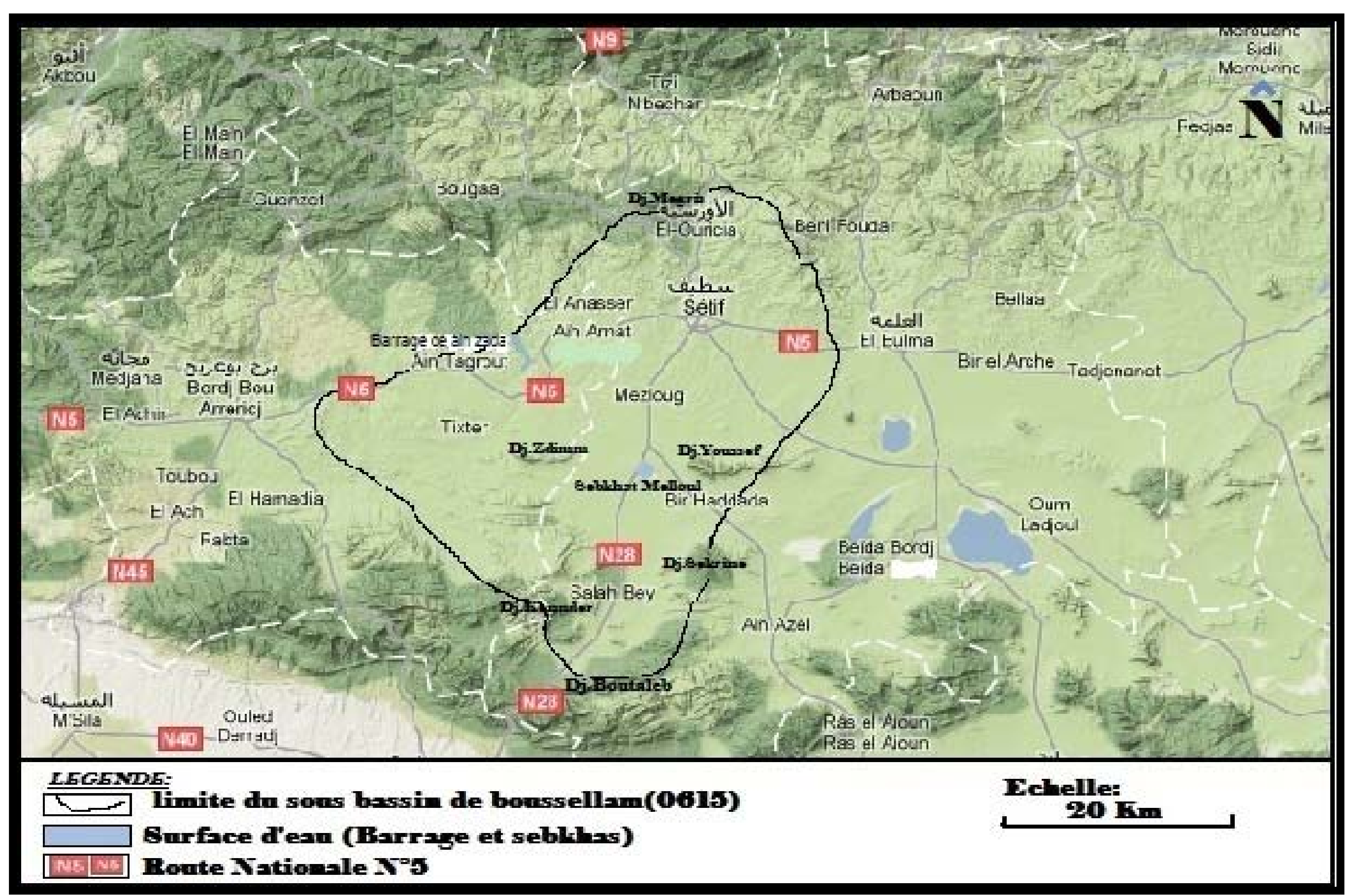


Figure.05:Situation régionale du Barrage de Ain Zada et du sous bassin de Boussellam(Algérie) (photo Satellitaire 2010)

L’étude du barrage de Ain Zada est faite par le bureau d’étude Américain BECHTEL en 1979, est mis en service en 1986, dont il fait un exutoire du sous bassin de Boussellam amont , qui est destiné initialement à l’irrigation mais rapidement détourné au profit des villes de Sétif, Bordj Bou-Arreridj , El Eulma et Bougaa avec une capacité totale de 125 Mm^3 et une capacité utile de 110 Mm^3. Le barrage comporte plus de 121.400 Mm^3 d’eau, il est caractérisé par son plan d'eau qui couvre une superficie de 1140.67 hectares et sa faible profondeur qui ne dépasse pas 26 m au maximum.

Le barrage de Ain Zada est un barrage en enrochement avec un noyau couche vers l’amont L'aménagement de la cuvette du barrage a nécessité la déviation de la Route Nationale N°5 qui délimite maintenant la partie sud du site (fig.6).

Le barrage permet d’assurer les besoins en eau potable et industrielle des villes de Sétif, Bordj Bou- Arréridj et El Eulma et même plusieurs communes de ces deux wilayas.



***Source** : Google Earth, Décembre 2010*

Figure.06:Barrage de Ain Zada Wilaya de Bordj Bou-Arreridj (Algérie) (photo Satellitaire)

I.2. Aperçu socio-économique :

I.2.1. Le contexte démographique :

Le sous bassin de Boussellam amont occupe la partie occidentale de la Wilaya de Sétif, cinq Daïras appartiennent à ce bassin : Sétif, Ain Arnat, Ain Oulmène, Guidjel, et Salah Bey, et une partie à l’Est de la Wilaya de Bordj Bou-Arreridj représentée par les Daïras de Ain Taghrout, Bir Kasd Ali et Ras El Oued.

Ces Daïras contiennent 16 communes, 11 pour Sétif et les 5 restantes de Bordj Bou Arreridj (Tableau.01). Selon les projections de 2010 (DUH), basées sur le recensement de 2008, la population du bassin est de 698905 Habitants, avec un taux de croissance démographique moyenne annuelle d'ordre de 1.7 %.

La commune de Sétif contient 323 583 habitants, soit 46.81% de la population globale du sous-bassin, ainsi que 85.49% de la population est de la wilaya de Sétif, elle occupe 77 % de la surface du bassin, et 14.51 % de Bordj Bou Arreridj dans 23 % restantes.

Tableau 01. Données des populations, des consommations en AEP et des rejets des volumes d'eaux des communes du sous bassin de Boussellam

Wilaya	Daïras	Communes	Population 2008 (hab)	Taux d'acc	Population(1) 2010 (hab)	Milieu de résidence	Superficie (2) (km²)	Densité (hab/km²)	Volume d'eau d'AEP Qx Réelles m³/j	Taux raccord Au réseau d'AEP(%)	Volume d'eau rejetée (m³/j) théorique	Taux raccord Au réseau d'assainiss%	Volume d'eau rejetée (m³/j) dans l'oued	Milieu récepteur
Bordj Bou-Arreridj	Ain taghrout	Ain taghrout	12906	1.5	13296	Rural	124.03	107.19	1943	96	1554.4	93	1214	oued
		Tixter	10190	0.7	10333	Rural	109.43	94.42	1538	85	1230.4	77	932	oued
	Bir kasd ali	Bir kasd ali	14768	1.6	15244	urbain	64.48	236.41	1480	90	1184	89	740	oued
	Ras el oued	Ras el oued	51482	2	53562	urbain	140.13	382.23	6286,61	95	6024	90	5029	oued
		Ain tessera	9570	0.2	9608	Rural	118.31	81.21	757.14	80	605.71	69	1062	oued
Total	**03**	**05**	**98916**	**1.2**	**102043**	/			12005		10599		8980	
SETIF	Sétif	Sétif	288461	1.9	299528	urbain	127.30	2352.93	52.522	99	42018	87,7	22188	Step +oued
	Ain Arnat	Ain Arnat	43551	3.8	46924	urbain	202.55	231.66	7.474	95	5980	92	3187	oued
		El Ouricia	18087	2.3	18929	urbain	117.87	160.59	3.672	85	2938	96	1312	oued
		Mezloug	16976	2.5	17835	Rural	135.55	131.57	3.542	70	2834	95.8	816	oued
	Ain Oul-mène	Ain Oulmène	73831	2.2	77115	urbain	171.08	450.75	6.500	99	5200	88.1	4669	oued
		Guellal	21385	0.7	21686	Rural	125.60	172.65	210	96	168	76	270	oued
		Ksar El Abtal	23833	1.5	24553	Rural	118.40	207.37	779	92	624	86	637	oued
		OuledSiAhmed	10238	0.8	10403	Rural	102.85	101.14	436	90	349	76.1	360	oued
	Guidjel	Guidjel	33685	1.9	34977	Rural	231.43	151.13	4.680	85	3744	75.5	1106	oued
	Salah Bey	Salah Bey	27175	2.2	28384	urbain	142.00	199.88	5.500	90	4400	87	1719	oued
		Rasfa	16075	1.4	16528	Rural	184.88	89.39	2.160	70	1728	62	476	oued
Total	**05**	**11**	**573297**	**1.9**	**596862**	/	**1659.51**	**359.66**	**87475**		**69980**		**36740**	
Total bassin	**08**	**16**	**672213**	**1.7**	**698905**	/			**99480**		**80579**		**45720**	

$P_F = P_R (1+ \zeta)^N$ Avec : P_F :Population future ou actuel (2010)

P_R : Population de référence (année de recensement local)

ζ : Taux d'accroissement local

N : Horizon pris en considération (2 ans)

Source. *Direction d'urbanisme et d'habitat* DUH des Wilayas de BBA et Sétif

(1), (2). Les calcules se faites selon les limites administratives des communes

I.2.2. Le Contexte Agricole et couvert végétal :

Le couvert végétal a une influence directe sur l'écoulement fluvial, ainsi que les facteurs orographiques et climatiques. La résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense.

Le sous bassin de Boussellam est à vocation agricole, notamment céréalière.

Cependant, l'activité agricole connaît des contraintes liées aux conditions climatiques et au relief d'une part et à l'érosion qui affecte les sols d'autre part, on observe une coexistence de deux types d'agriculture :

* Une agriculture de montagne.
* Une agriculture extensive avec association céréaliculture jachère sur les hautes plaines.

Parmi les cultures prédominantes nous citerons: les céréales, les légumes secs, les maraîchages, les fourrages, et l'arboriculture.

Tableau.02:Répartition de la superficie agricole utile(S.A.U) dans le sous bassin versant de Boussellam amont

Terre agricole	*S.A.U (ha)*		*Dont irriguées (ha)*	
Région	***Wilaya***	***S-B.V.Boussellam***	***Wilaya***	***S-B.V.Boussellam***
Sétif	363 686	90 921	11 000	2 500
Bordj Bou Arreridj	187 817	35 470	7 342	827
Total	551 503	**126 391**	18342	**3 327**

D'une manière générale notre bassin d'étude est occupé par les types des cultures suivantes :

a) Les grandes cultures :

Elles occupent presque toute la superficie du bassin versant surtout au Nord – Est et au sud et sud-ouest du bassin, elle est caractérisée par la présence du blé, l'orge, la farine, l'avoine, les lentilles, choux, pois chiche, pomme de terre.

b) La culture maraichère :

Elle est localisée dans le centre et l'Est du bassin et tout le long des oueds. Elle est développée suite à l'irrigation à l'aide des puits et de forages .Elle est développée dans la région de Guellal et Mezloug (Figure. 07).

c/ Les plantes endémiques de sous-bassin de Boussellam :

Le couvert végétal dans le sous-bassin de Boussellam est caractérisé par la présence des plantes endémiques, suite à une enquête de terrain plusieurs variétés de plante se développent après les précipitations a environ de Sebkhat Melloul et autour du barrage de Ain Zada et à l'amont de oued Boussellam qui constitue des zones humides du bassin d'étude .La végétation est composée de plantes halophiles (Khrech, Harmel, Quababouche, Sorgot) qui sont utilisées comme parcours pour les moutons et les vaches.

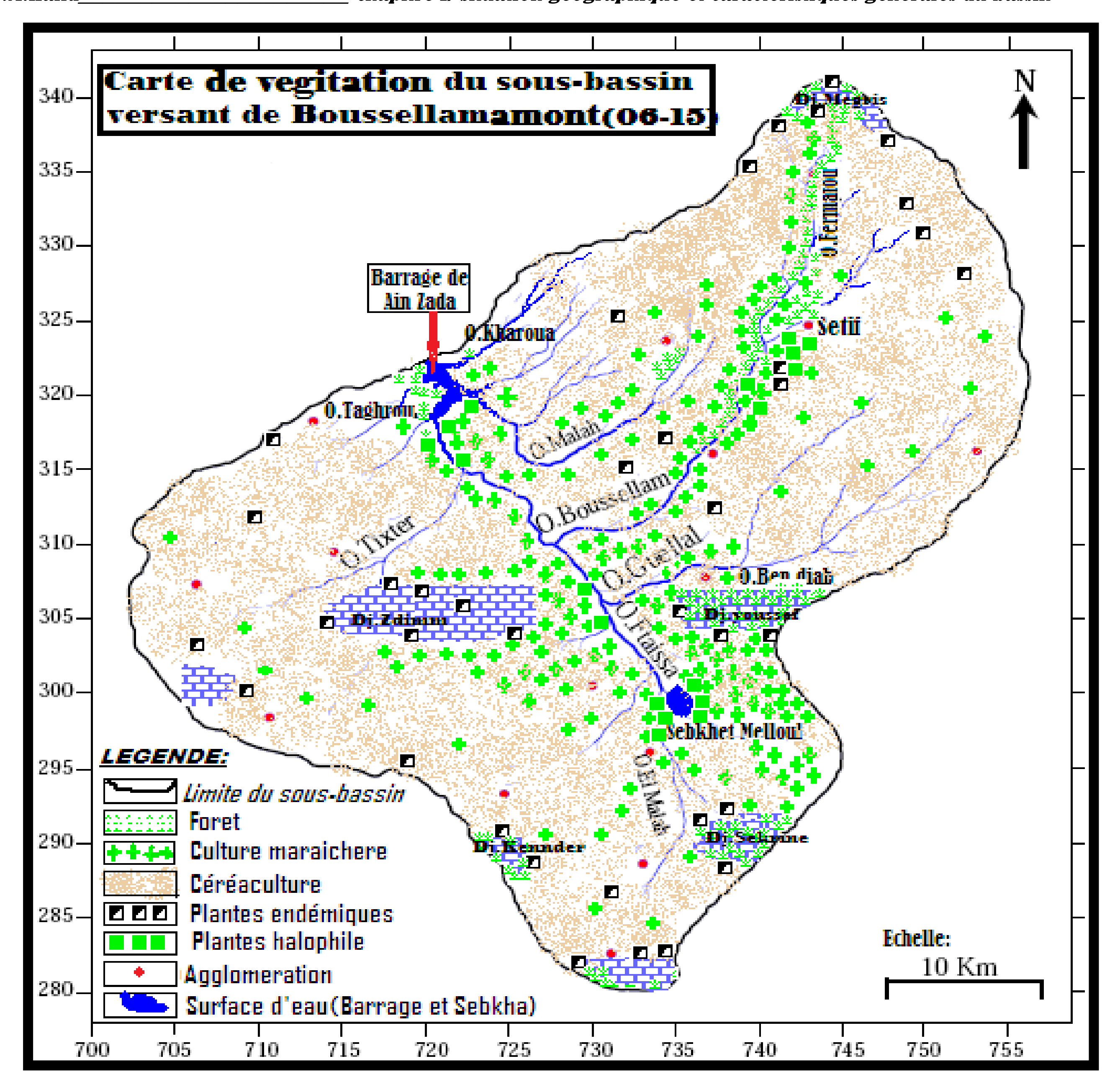


Figure. 07 : Carte de végétation du sous- bassin versant de Boussellam amont.

I.2.3. Le contexte industriel :

L'activité industrielle dans le bassin de Boussellam est fortement concentrée autour des grandes agglomérations telles que : Sétif, Ain Oulmène, et Ras El Oued. Il existe deux secteurs d'activités, petite et moyenne industrie, elles sont localisées principalement dans la zone industrielle de Sétif, et les autres zones d'activités.

On distingue :

1. Industrie de l'agro-alimentaire .
2. Matériaux de construction, carrière, bois et lièges.
3. Imprimerie- papier – carton.
4. Bâtiments, travaux publics et hydrauliques.
5. Industrie de cuir et de la chaussure.
6. Industrie du textile et de la confection.
7. Bureau d'étude et ingineering .
8. Transit, Transport, Tourisme et Hôtellerie.
9. Industries sidérurgiques, métallurgiques, mécaniques, et électrotechniques.
10. Industrie du plastique, du caoutchouc, chimie et verre.

*** Les zones industrielles :**

Il y’a une seule grande zone industrielle localisée à la commune de Sétif, au sud de la ville de Sétif, couvre une superficie de plus de 291 ha, elle produit en général des plastiques, chimie, et les dépôts, elle rejete les eaux directement à oued Bouaroua puis oued Echouk a oued Guellal et en fin a oued Boussellam qui est le principal affluant qui draine le Barrage de Ain Zada.

*** Les zones d’activités :**

Plus la zone industrielle de Sétif, Il y’a 9 d’autres petites zones d’activités dans le sous bassin de oued Boussellam qui sont les suivantes :

Tableau.3: les petites zones du sous bassin de Boussellam amont +la grande zone de Sétif(Tab.4)

Localisation	Produits fabriqués	Superficie disponible en (ha)
Ain Arnat	Plastique	//
Ain Oulmène	Carrelage, emballage, et plastique	6.2
Ain Taghrout	Carreaux granito	//
Ain Tassera	Semoule, Farine, Lait et dérivés	//
Ain Trick (Sétif)	Chimie, et dépôts	0.68
Guellal	Plâtre	0.24
Guidjel	Agro-alimentaire	0.29
Mezloug	Lait et produits laitiers. Faïence, et Plinthe	//
Ras El Oued	Chocolaterie Sidérurgie, métallurgie	//

Tableau.04: Les unités industrielles les plus polluants de l'amont de oued Boussellam (qui se trouve dans la zone industrielles de Sétif et Ain Oulmène)

	Entreprises	Activité	Capacité de production		Matières premières	Produits chimiques utilisés	Consommat en eau	Rejets liquides	rejet solide
			Théorique	Reelle					
GROUPE .E.N.P.C	Unité sacs et films	films agricoles, emballage	10.000T/An	6.500T/An	Polyéthylène granulé. P.E.B.D	Alcool éthylène - encre, Isopropilyque, isopropanol.	11 m³/j	8 m³/j	20T/an
	Unité articles techniques	des bacs, des clayettes, des capsules, des articles	1.200T/An	720T/An	Polyéthylène granulé basse densité (PEBD)	Additifs, colorants	41 m³/j	38,6 m³/j	36T/An 05T/An déch publique
	Unité mailles extrudées	des caisses, gaines électriques, mailles	12.000 T/An	4.000 T/An	Polyéthylène, polystyrène polypropylène,	Additifs colorants-Hydrogène Cyanure de potassium	13m³/j	04m³/j	40T/An(30T/An récupé. 10T/An déche publique)
	Unité calandrage	Transf et production de feuilles souples en PVC	2.400T/An		Acétate d'éthylène, méthyléthylcetone	Stabilisant à base: Ba, Zn, Cd, Pb, encres adhésifs, plastifiant	10 m³/j	4m³/j	72T/An(67T/An récupérable 05T/An décharge publique
	Unité moules et outillages	des moules injection et pièces de rechange	Matières premières Acier			Sels de cyanure, acide sulfurique, acide nitrique, alcool, formoles, phénolphtaléine, trichloréthylène, charbon de bois, k, potassium, gaz carbonique, acide chromique, nitrate d'argent	10 m³/j	7m³/j	06T/An(décharge publique) 4800l/mois rejetée directement dans le réseau de la zône sans traitement
	Unité tubes	tubes en PVC pour les besoins de l'agricl et L'AEI	3200T/An		PVC, complexe phosphatedibasique de pb, cetyle palmitale, stériate dibasique de pb, cive paraffine, acide stéarique, carbonate de ca.		13m³/j	5m³/j	120T/An papier Craft récupéré 96T/An PVC -06 T/An déch publique
	Unité revêtement de sols	Fabrication de tube d'irrigation Ø90 et 75mm	200T/An		PEBD, plastifiants, stabilisants, lubrifiants	Plastifiant à base de DOP, stabilisant à base de Ba, Cd, Zn et Pb lubrifiant	22m³/j	13m³/j	6T/An de polyéthyléne(4,5 récupére 1,5 décharge publique
	Com:piles et accumulateurs	Production de piles et accumulateurs	70.000 piles/jour. 1.400 accum/jour		plomb, bioxyde de manganèse, acide sulfurique, zinc.	étain, farine, amidon de mais	500 m³/j	200 m³/j contaminés par les acides et les métaux lourds	Boues contenant des métaux lourds 192m³/an stockées -Piles rebutée 47000/an rejetées à la décharge
	menuiserie plastique	Fabrication de portes et fenêtres en PVC	3000T/An		PVC +Additifs	_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _	10 m³/j	8m³/j	150T/An de PVC:-141 récupérables. - 09 décharges publiques
	E.M.A.C SETIF	Fabrication des chaussures de sport	1000paires /j		Cuir naturel, synthétique, semelles en caoutchouc, synderme en carton	colles à base de néoprène et poluréthane, teinte, isocyanate	16m³/j	13 m³/j	20Kg/j de déchets de cuir et de synderme rejetée à la décharge publique
	Complexe Lahmar Chérif Sétif	semoule et dérives(pates	300T/j		Blé dur, blé tendre		350 m³/j	330 m³/j	Les eaux de lavage chargées de déchets de matière organique rejetées dir ectement dans 'Oued Boussellam' sans traitement
	O.R.A.V.I EST: SETIF	Abattage avicole	15000 poulets/j	7500 poulets/ j	_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _		50m³/j	49m³/j	les abats, les plûmes et le sang Le rejet contenant du sang regagne le réseau sans traitement
	Abattoir communal APC DE SETIF	Abattage d'animaux (Ovins, Bovins)	200têtes/j ovins, 30 têtes/jour bovins		_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _		73 m³/j	68 m³/j	1500 l/j de sang est rejetée dans le réseau sans traitement Les carcasses et les organes infectés sont chaulés et rejetés dans la décharge publique
	SAFCER SEKLOULI	Fabrication de faïences	1500m²/j	1100m2/j	SiO_2, B_2O_3, P_2O_5, AL_2O_3, ZnO, Blanc opaque		12.7m³/j	3.7m³/j	Les eaux usées industrielles, contaminées par le produit de l'émaillage sont déversées dans la nature provoquant au secteur agricole
	O.R.E.LAIT MEZLOUG	lait et yaourt	160.000 l/j laits 250.000 p/j yaourts		Poudre de lait, Matières grasses (M.G.L.A.)		1500m³/j	48Om³/j	les eaux usées sont rejetées dans l'Oued Boussellem créant ainsi un déséquilibre de la faune et de la flore.
	E.N.A.S.E.L AIN OULMENE	conditionné à usage alimentaire et industriel	13.000T/an		Saumure	Iode	06m³/j		Une quantité d'eau saumatre issue de la station de lavage de sel est rejetée dans les terrains limitrophes
	BATIMETAL charpente A. OULMENE	charpente et des pylônes métalliques	7500T/An		Aciers		09m³/j		
	E.N.I.P.E.C Unité cuirs	Produit du cuir synthétique					12m³/j	8m³/j	
	E.P.R.E Setif Briquitrie	Production de briques	100.000T/An		Argile		50m³/j	40m³/j	4000T/an et des gaz de Fluor, CO, CO2,SO2,CL2
	E.N.M.G.P A.Oulmene	fabrique des portes, fenêtres et meubles	500.000m²/j(8000logts/an)		Bois	Colle, peintures, vernis	20m3/j	16m3/j	
	S.N.V.I SETIF	maintenance des véhicules industriels					40m3/j	28m3/j	
	S.I.T.R.W.S: SETIF	réalisation des réseaux d'assainissement.					55m³/j	53m³/j	

I.2.4. L'organisation administrative :

Sur le plan administratif, le sous bassin du Boussellam s'étend principalement sur la région occidentale de la wilaya de Sétif et une partie à l'Est de la wilaya de Bordj Bou Arreridj. Il comprend Hits(08) daïras, englobant quinze (16) communes (10 communes rurales, 6 communes urbaines) : Sétif, Ain Arnat, El Ouricia, Mezloug, Ain Oulmène, Guellal, Ksar El Abtal, Ouled Si Ahmed, Guidjel, Salah Bey, et Rasfa pour la wilaya de Sétif, et Ain Taghrout, Bir kasd ali, Ain Tassera, Ras El Oued, et Tixter pour la wilaya de Bordj Bou Arreridj.

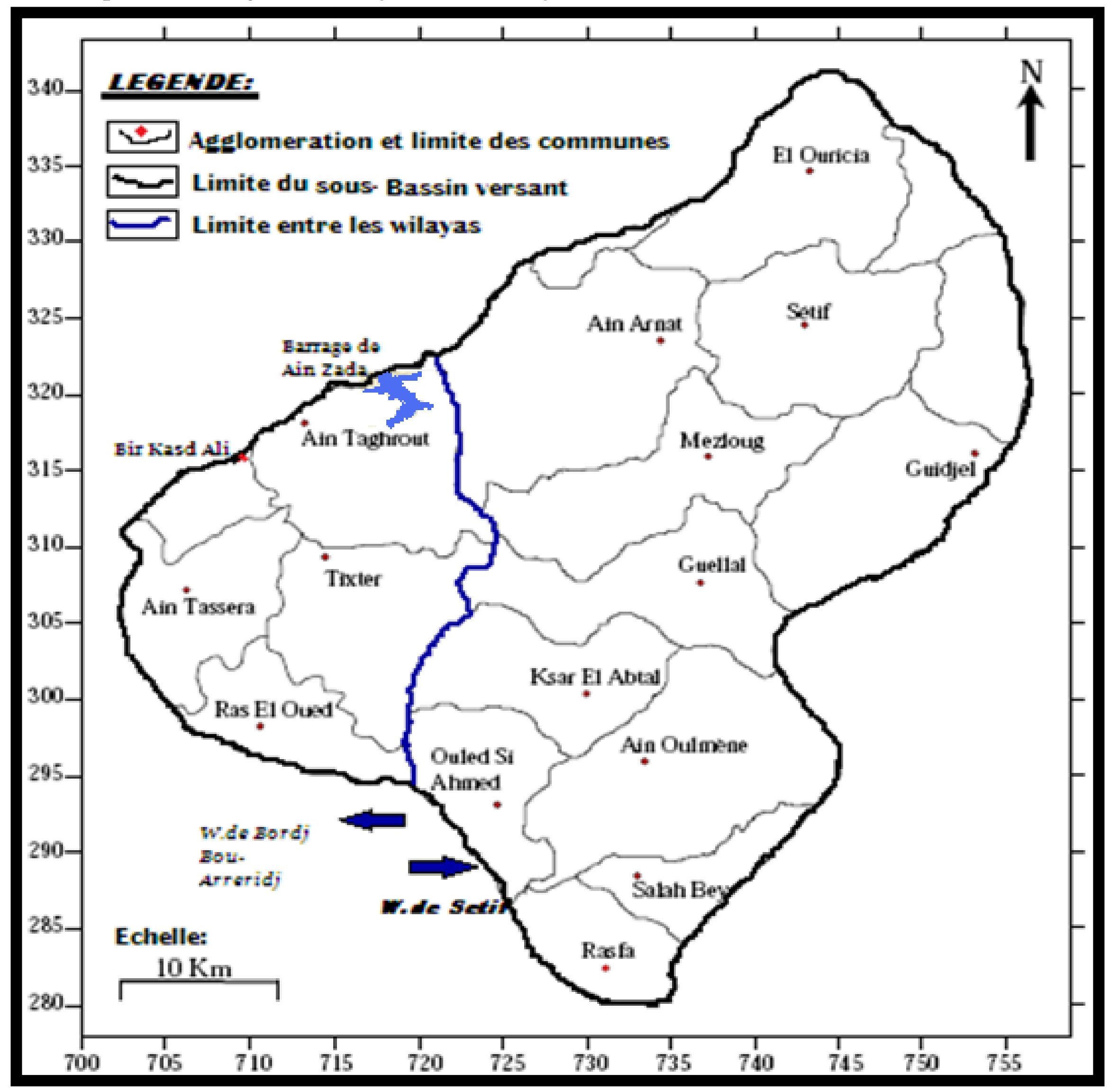


Fig.08:Carte du découpage administratif communal dans le sous bassin versant de Boussellam amont.

1.2.5. Carte des sources potentielles des pollutions :

A. Les sources potentielles des pollutions anthropiques :

Vu la forte activité urbaine, industrielle et agricole qui se développent dans la zone d'étude, plusieurs sources potentielles des pollutions ont été détectées. L'un direct d'origine anthropique due aux rejets d'eaux usées industrielles, au stockage des produits industriels et à l'utilisation des produits chimiques fertilisants dans l'agriculture (engrais et pesticides). L'autre indirect est d'origine naturelle du aux retombées atmosphériques qui favorise le lessivage des formations géologiques.

1. Les rejets d'eaux usées : Deux types sont distingués :

-Urbains: ils sont liés aux rejets domestiques des agglomérations par les réseaux d'assainissement sans aucune épuration préalable. (Tableau .n:01)

-Industriels: Ils sont représentés par les rejets de la zone industrielle de Sétif et des différentes usines de Mezloug et Guellal et sont caractérisées par une grande diversité de la composition chimique et de métaux lourds tels que: Fer, manganèse, et Plomb, leurs débits dépasse les 1500Mm^3/J (Tableau .n:04)

Ces deux rejets (industriels et urbains) représentent un danger majeur pour la qualité des eaux des oueds et du barrage, vu les fortes concentrations en polluants chimiques et leurs débits élevés.

2. L'agriculture :

Son influence apparaît par l'effet de l'utilisation intensive des produits fertilisants : chimiques ou organiques (engrais minéraux et déjections animales), ainsi que les pesticides (insecticides, fongicides, acaricides et herbicides) sur les terrains perméables, l'activité agricole est localisée sur tout le long de oued Boussellam et la région de Mezloug et Guellal (Figure.09), Ces derniers permettent une ruissellement directe de la forme azotée (nitrates, nitrites, ammonium et phosphates) vers les oueds puis directement vers le barrage.

B. Les sources naturelles:

L'existence des formations gypseuses, salifères et carbonatée au niveau de la zone d'étude favorise une dissolution rapide de certains éléments chimiques. Le danger de ce processus apparaît lorsque les concentrations de ces éléments dépassent les limites de potabilité. parmi ces formations géologiques on a les gisements de sel et les formations triasiques de Guellal.

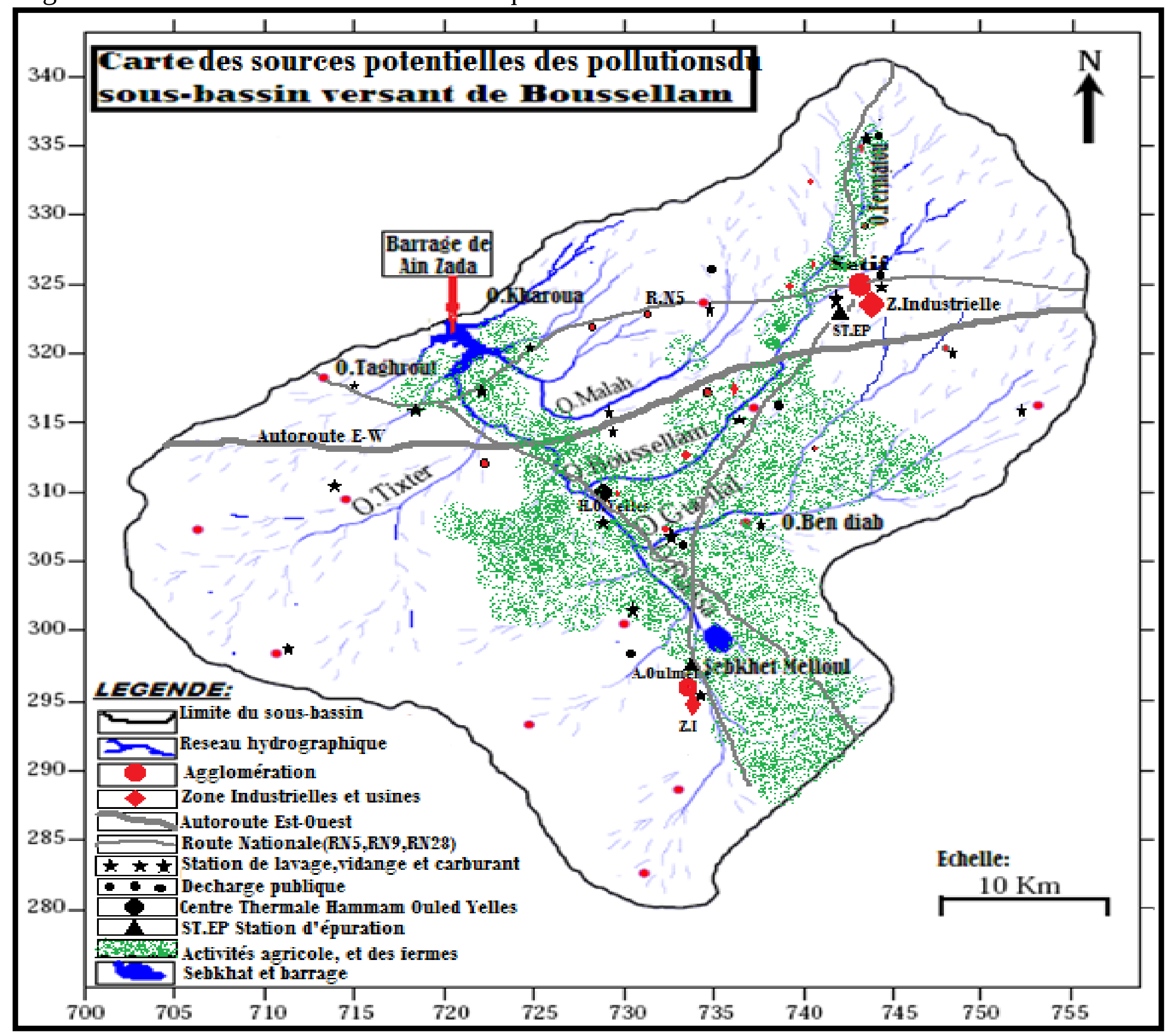


Fig.09:Carte des sources potentielles des pollutions dans le sous bassin versant de Boussellam amont.

I.3. Géomorphologie générale et le chevelu hydrographique du sous bassin de Boussellam amont:

I.3.1. Les ensembles morpho-structuraux du sous bassin de Boussellam :

L'oued Boussellam est le plus grand oued des hautes plaines sétifiènnes de direction Sud-ouest en amont et Nord-ouest au centre et en aval, il prend naissance sur les pentes des Djebel Megris et Aissel à la partie Nord et sur les pentes de Djebel Sekrine au Sud représenté par le principe affluent oued Ftaissa.

Le barrage de Ain zada qui draine par les oueds du bassin de Boussellam amont, ce dernier contient deux principaux sous bassin qui sont :

- **Le Sous bassin de Boussellam amont :**

Drainé par le Talweg principal (oued Boussellam) et ses affluents qui constituent les petits sous bassins suivants :

- Petit sous bassin de Fermatou
- Petit sous bassin de Boussellam amont
- Petit sous bassin de Khalfoun
- Petit sous bassin de Malah
- Petit sous bassin de Tixter
- Petit sous bassin de Ain Taghrout
- Petit sous bassin de Kharoua

- **Le Sous bassin de oued Ftaissa :**

Oued Ftaissa est le principe affluent de oued Boussellam amont draine la région des plaines de Mezloug, et Hammam Ouled Yelles, ou les écoulements sont lents, le sous bassin est subdivisé en cinq (05) petit sous bassins.

- Petit sous bassin de Ben Diab
- Petit sous bassin de El Malah
- Petit sous bassin de Fareh
- Petit sous bassin de Ftaissa
- Petit sous bassin de Guellal

I.3.2. Les terrasses et la morphologie du sous bassin :

Le sous bassin dans sa totalité morphologique est caractérisé par une évolution qui a commencé au Quaternaire et qui continue jusqu'à l'heure actuelle, l'hétérogénéité morphologique est caractérisée de l'amont vers l'aval par :

***** Les terrasses au Nord du bassin formées par un relief couvert de dépôts Quaternaires, en majorité (les formations à matériel Eocène intermédiaires, en petite partie par les flyschs à l'amont du bassin et la formation Eocène favorisant une zone semi-aride).

***** Au piémont (milieu), la structure du sol est en grande partie couverte des dépôts Quaternaires, on note également la présence d'une très petite partie de couvert allochtone Sud Sétifien, favorisant une bonne perméabilité.

***** Au Sud-ouest le sol est en majorité formé par une couverture de parautochtone et autochtone Hodnées associés à du Trias exotique.

***** Au centre, le sol est formé par du matériel Eocène parautochtone, autochtone et allochtones, on note également la présence des formations Mio-pliocène au Nord-ouest.

I.3.3. Les reliefs :

Le sous bassin de Boussellam amont est une zone des hautes terres ont généralement des altitudes moyennes et fortes où trois zones se distinguent :

- La zone montagneuse
- Les hautes plaines
- La frange semi aride

Tableau 05 : Altitudes des reliefs dans le sous bassin versant de Boussellam

Nom du relief	Altitude (m)	Nom du relief	Altitude (m)
Djebel Megris	1737	**Kef El Ahmer**	1351
Djebel Medjounes	1461	**Djebel Zdimm**	1160
Djebel Matrona	1426	**Djebel Leknef**	1050
Djebel Tarmount	1409	**Kef Della**	1048
Djebel Mnaguer	1426	**Djebel Hassane**	1240
Djebel Aissel	1336	**Djebel Lougrine**	1213
Djebel Youssef	1442	**Kef Bouhallala**	1274
Kef Diedi	1098	**Djebel Sekrine**	1453

I.3.4. Le chevelu hydrographique :

L'étude du profil en long, montre des ruptures de pente que l'on ne peut expliquer que par des seuils rocheux particulièrement résistants à l'érosion hydrique, en tous cas, l'irrégularité du profil et l'accentuation des pentes en amont de la confluence de oued Fermatou, oued Khalfoun, et oued Boussellam témoignent de l'importance de l'érosion, ceci est probablement due à l'absence du champ d'inondation.

La première rupture R1 (figure.10) est observée à l'altitude 986m puis elle devient plus faible, ce qui ralenti l'écoulement et donne l'occasion à l'eau de s'infiltrer.

La deuxième rupture R2 (figure.10) est observée à l'altitude de 973m, où la pente est plus accentuée faisant accélérer l'écoulement et donnant naissance à un régime défavorisant l'infiltration.

Les principaux affluant du bassin de oued Boussellam et qui draine le barrage de Ain Zada sont oued Fatmatou, Khalfoun, Tbinet, Mellah, Guellal , Ftaissa,Tixter ,malah , Taghrout et Kharoua.

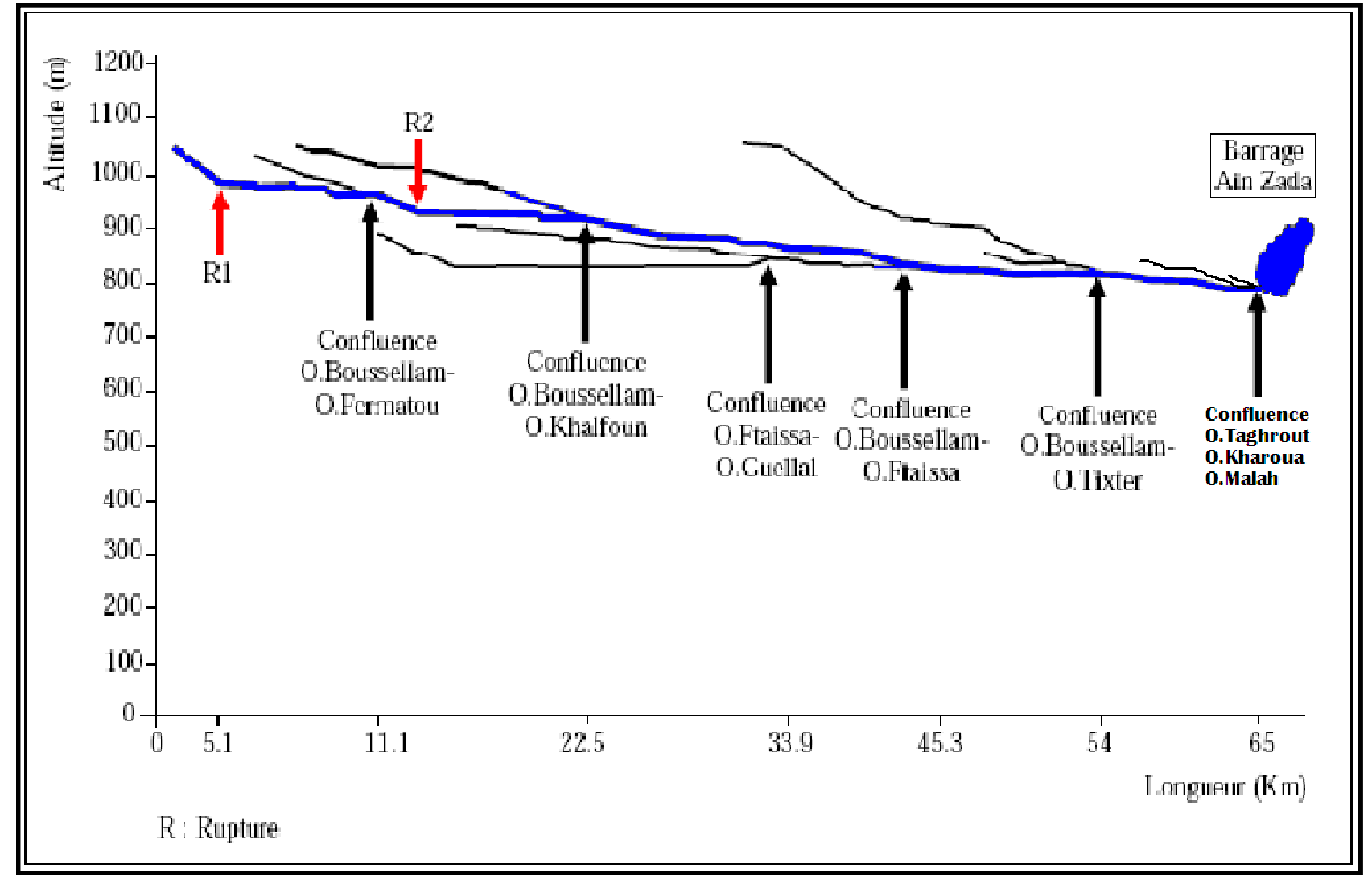


Figure. 10 : Profil en long de oued Boussellam et ses principaux affluents.

I.4.Les caractéristiques physiques et morphométriques du sous bassin versant du Boussellam:

I.4.1. La superficie:

Le sous bassin versant du Boussellam amont a une superficie ***A*** de **1785 Km²** est une grande partie du bassin versant de Boussellam (soit 35% de 5010 Km²) ce dernier, fait une partie du grand bassin Soummam, cette superficie est délimitée par une ligne de partage des eaux de **175 km** étant le périmètre du sous-bassin ***P***.

I.4.2. La forme du sous bassin:

Cet élément peut être caractérisé par l'indice de compacité de Gravelus K_C, ayant une influence certaine sur l'écoulement, la forme du bassin détermine l'allure de l'hydrogramme résultant d'une pluie donnée, où un bassin allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin de forme ramassée.

La forme est exprimée par l'indice de compacité, qui correspond au rapport du périmètre ***P*** du bassin et sa surface ***A***.

$$K_C = 0{,}28\frac{\sqrt{A}}{P} = \mathbf{1{,}15}$$

Ou : K_C : indice de compacité de Gravelus

P : périmètre (km)

A: superficie (km2)

Pour le sous bassin versant de Boussellam amont, l'indice K_C a été estimé à 1.15, traduisant une forme allongée du bassin et c'est ce que les dimensions du rectangle équivalent confirment (53.22 km et 33.53 km).

I.4.3. Les dimensions du rectangle équivalent:

Cette notion introduite par L.Roche en 1963, permet la comparaison des bassins versants entre eux, quant à l'influence de leurs caractéristiques physiques sur l'écoulement global. Quand l'indice de compacité est supérieur à 1.12, les dimensions du rectangle équivalent sont obtenues à l'aide des relations suivantes:

$$L = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12}\left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)}\right] = 53.22km. \qquad l = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12}\left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)}\right] = 33.53km$$

Ou : ***L*** : Longueur du rectangle équivalent en Km

l : Largeur du rectangle équivalent en Km

K_C : Indice de compacité

S: Superficie du bassin versant en Km²

Nous obtenons : ***L* = 53.22 Km**

***l* = 33.53 Km**

I.4.4. La répartition des tranches d'altitudes et la courbe hypsométrique:

L'analyse hypsométrique est très utile pour l'étude du relief, elle met en évidence le profil type du bassin et les pentes, facteur déterminant de l'écoulement, il devient donc impératif d'étudier la répartition de la superficie du bassin par tranche d'altitude, à partir de la carte topographique de Sétif (1 / 200 000), on a pu réaliser le tableau N°06.

Tableau.06.Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitude dans le sous bassin versant de Boussellam amont

Tranche d'altitude(m)	Hauteur moyenne(m)	Surface partielle Si (km^2)	Surface cumulée Si (km^2)	Surface partielle Si (%)	Surface cumulée Si (%)
≤ 800	0	0	0	0	0
800 -1000	900	1066.28	1785	59.73	100
1000 - 1200	1100	557.14	718.72	31.21	40.25
1200 - 1400	1300	103.27	161.58	5.78	9.04
1400 -1600	1500	48.05	58.31	2.69	3.26
1600 -1800	1700	10.26	10.26	0.57	0.57
Total bassin		**1785**		**100**	

L'altitude moyenne du sous bassin de Boussellam, calculée à partir de la courbe hypsométrique (Figure.11) réalisée à partir du tableau (06) est de l'ordre de 1000 m, cette valeur traduit un altitude moyen assez fort, ou le diagramme des fréquences altimétriques fait ressortir la répartition par tranche d'altitude de la superficie du bassin, ainsi donc, Nous pouvons aisément constater les diverses altitudes caractéristiques du bassin.

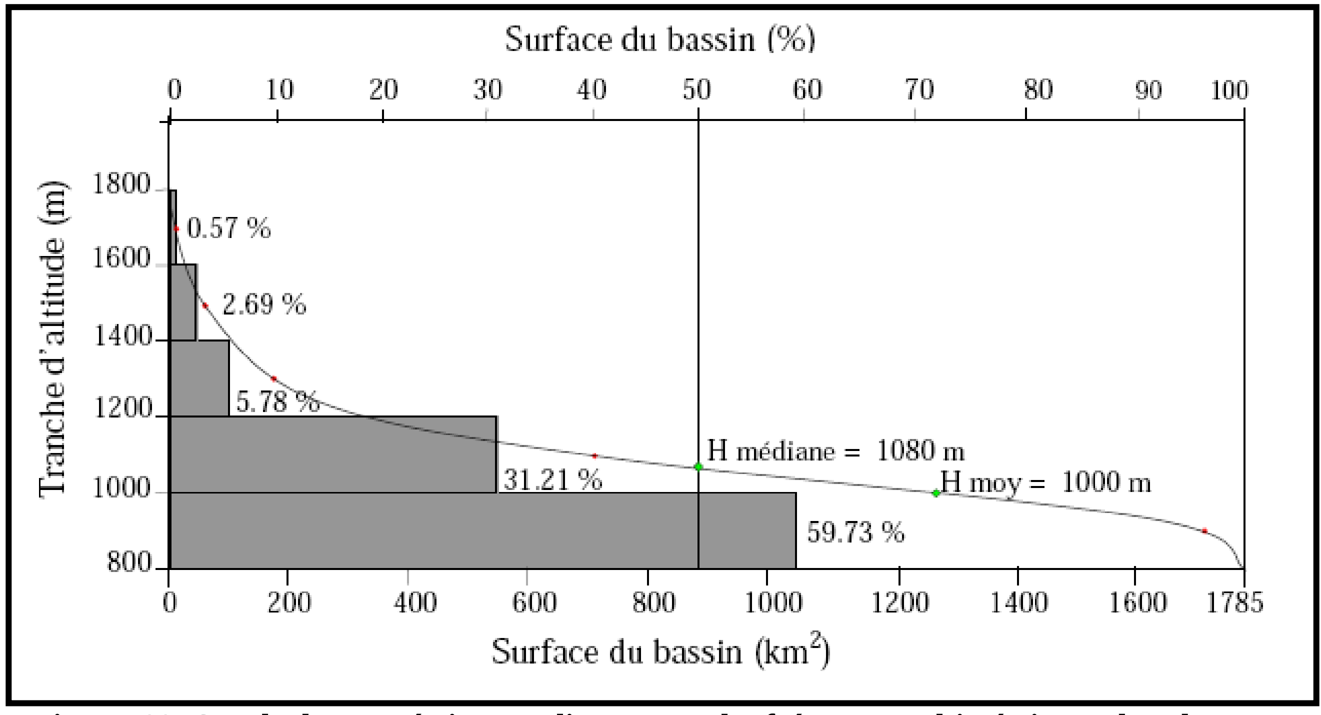


Figure .11: Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques dans le sous Bassin de Boussellam amont.

Le secteur d'altitude dépassant les 1600 m est très peu étendu dans le bassin (0.57%) et correspond à la montagne située au Nord du bassin Djebel Megris (1737 m).

Les zones d'altitudes comprises entre et 1200 et 1600 m couvrent 151.32 km^2, soit environ 8.47% de la superficie totale et correspondent aux fronts Sud des monts de Megris, Medjounes, Matrona, Tarmount, Mnaguer, et Aissel.

Les zones d'altitudes allant de 1000 à 1200 m couvrent une superficie de 557.15 km^2, soit 31.21 % de la superficie totale et concernent les hautes plaines sétifiennes au Nord et au Sud.

Enfin, la tranche d'altitudes entre 800 et 1000 m, s'étale sur une superficie de 1066.28 km^2 soit 59.73%, et concerne largement la vallée du Boussellam et ses vallées affluentes représentées par les vastes hautes plaines sétifiennes jusqu'à le barrage de Ain Zada.

I.4.5. Les indices de pente et le relief :

Ces indices permettent de caractériser les pentes d'un bassin versant et d'établir une classification des différents reliefs pour faire ensuite des comparaisons entre les différents bassins, l'appréhension du relief peut être faite à l'aide d'au moins deux indices.

- **Indice de pente global (I_g):**

Cet indice présente l'avantage d'être très simple et facile à calculer, l'indice de pente globale (**I_g**), exprimée en m/km, est donnée par le rapport de la dénivelée utile (**D** en m), estimée à partir de la courbe hypsométrique, à la longueur du rectangle équivalent en km (L) d'où:

$$Ig = \frac{D}{L}$$

La dénivelée utile (**D**) est estimée, à partir de la courbe hypsométrique, par la différence des altitudes correspondant à 5% et 95% de la superficie totale du bassin étudié, altitudes dénotées, respectivement, par $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$. Ceci dit que 90% de la superficie s'étend entre ces altitudes.

$$Ig = \frac{D}{L} = \frac{460}{53.22} = 8.64 \Rightarrow Ig = 0.008$$

L'indice de pente globale ***Ig*** est estimée à 8.64 m/ km, ou 0.008 cela implique que le relief du bassin de Boussellam est assez faible (0.005 > ***Ig*** > 0.010) Selon la classification de ***l'O.R.S.T.O.M***.

Mais pour classer le relief du bassin de Boussellam, il semble plus fiable de se baser sur la dénivelée spécifique (***D_s***) au lieu de l'indice de pente globale (***Ig***), car ce dernier ne peut être signifiant qu'en cas des bassins de plus de 25 km^2 de superficie.

$$Ds = Ig.\sqrt{A} = 365\ km$$

La ***D_S*** estimée est de 365 m, donne au relief du sous-bassin de Boussellam la qualification de relief fort (250 m < Ds=365 < 500 m selon la classification de ***l'O.R.S.T.O.M***), ce relief fort est un élément déterminant de la réaction du bassin vis-à-vis les pluies.

I.4.6. Les classes des pentes:

I.4.6.1. Les pentes faibles < 7.5 % :

Représentées par les hautes plaines, elles s'étendent des piémonts des monts au Nord et au Sud jusqu'au barrage de Ain Zada à l'Ouest, au Nord, elle est limitée par les hauteurs de djebels Megris, Aissel, et Madjounes et au Sud, par les monts des djebels Sekrine, kennder et Sattor.

. Cette zone se caractérise par un relief ondulé dont les parties hautes voient affleurer le substrat marneux et dont les parties basses sont noyées par des alluvions et colluvions. Les pentes diminuent parfois jusqu'à 0 % comme la zone située entre l'altitude de 862m et 937m ou le Boussellam prend un tracé régulier.

I.4.6.2. Les pentes moyennes 7.5 % < p < 14 %

Le cadre montagneux du Nord formé par les monts Megris, Aissel, et Medjounes s'étendent au Nord et Sekrine et kenneder au Sud, présentent les piémonts des Ouricia, Salah bey, et Ain Oulmène, les flyschs des montagnes du Nord sont des argiles schisteuses épaisses entrecoupées par des bancs de calcaires et de grès.

L'ensemble est très sensible à l'érosion mécanique, les terres cultivables où domine l'arboriculture (oliviers, figuiers, etc…) sont quasi inexistantes

I.4.6.3. Les pentes fortes > 14%

Représentés par les sommets des monts au Nord, au centre du sous-bassin et au Sud :

- Au Nord: Dj. Medjounes, Aissel, Megris, Metrona
- Au centre Djebel Youssef, djebel Zdimm
- Au Sud-est : Dj.Merouane, et Sekrine, Kef El Ahmer, et Kef Boudjemline.
- Au Sud : Dj. Hassane, Dj kenneder, Dj.Sattor, et Djbel boutaleb.

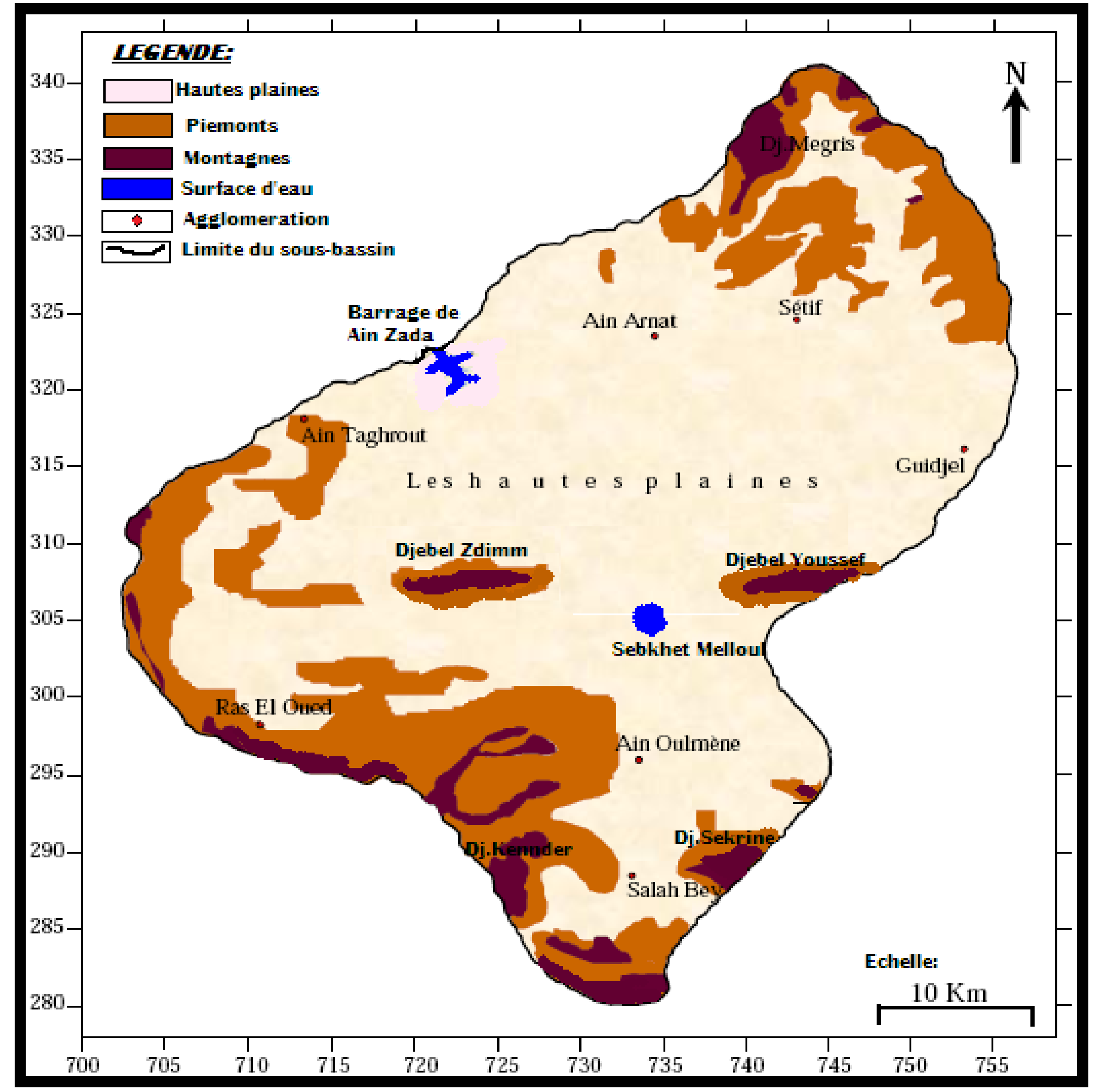


Figure.12 : Carte des pentes du sous-bassin versant de Boussellam amont

I.4.7. Le temps de concentration

C'est le temps mis par la première goutte de pluie tombée sur le point le plus éloigné du bassin pour atteindre l'exutoire, ce paramètre exprimé dans ce cas en heures, peut être estimé par la formule de Giandotti, applicable pour les bassins étendus à pentes plus ou moins uniformes:

$$Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.5Lp}{0.8\sqrt{Hmoy - Hmin}} = 27.19\ Heures$$

Donc on a : **Tc = 27.19 heures**

Tableau 07. Paramètres morphomètriques du sous bassin versant de Boussellam amont

Paramètres	Symboles	Valeurs	Unités
Superficie	*S*	1785	km^2
Périmètre	*P*	175	km
Coefficient de capacité	*Kc*	1.15	/
Altitude maximale	*H max*	1737	m
Altitude moyenne	*H moy*	1000	m
Altitude minimale	*H min*	850	m
Dénivelée spécifique	*Ds*	364	m
Temps de concentration	*Tc*	27.19	heure
Densité de drainage	*Dd*	3.03	km/km^2
Longueur du Talweg principal	*Lp*	65	km
Pente moyenne	*Pm*	2.71	m/km
Longueur du rectangle équivalent	*Le*	53.22	km
Largeur du rectangle équivalent	*l*	33.53	km

I.4.8. Constitution du réseau hydrographique :

L'étude des caractéristiques morphométrique, en plus de l'analyse hydrologique d'un bassin versant constitue une plate-forme essentielle pour l'explication et la compréhension de son comportement hydrologique, la forme, la superficie, le relief et les pentes influent sur le mouvement et le ruissellement superficiel dans un bassin versant.

Le sous bassin de oued Boussellam à Ain Zada, draine un ensemble de région hétérogène des hautes altitudes au Nord à sa tête par un relief accidenté ou les écoulements, ont un régime torrentiel, et à la région des plaines de (Mezloug, Hammam Ouled Yelles et Sebkhet Melloul) ou les écoulements sont lents.

Le profil en long irrégulier du Talweg principal (oued Boussellam) et ses principaux affluents tels qu'oued : Ftaissa, Fermatou, Khalfoun, Tbinet, Guellal, Mellah et Tixter, à la sortie de la partie de Mezloug le bassin perd sa torrentialité en abandonnant une partie de sa charge solide.

***Les retenues collinaires :** Les retenues collinaires dans le bassin du Boussellam sont essentiellement destinées à l'irrigation des moyens et des petits périmètres agricoles et l'abreuvage du cheptel. Elles sont au nombre de 06 (DHW Sétif), mobilisant un volume global de 5.29 Hm^3/an d'eau de surface.

Les retenues de l'oued Oumri et de l'oued Guergour sont réalisées en premier pour la protection des villes et la retenue de Zairi est gérée par la direction de la pêche pour l'élevage des poissons.

Tableau 08 : Les retenues collinaires du sous bassin versant de Boussellam amont

Nom de l'ouvrage	Commune	Oued	Superficie de B.V(km^2)	Hauteur de la digue(m)	Mobilisable (m^3/an)	Mobilisée (m^3/an)	Impact (ha)
Sommar	Ain Arnat	Sommar	42	13	2 000 000	1 200 000	Irrigation100
Abd Elbeg		Om snibet	13.31	12.5	500 000	330 000	Irrigation 30
Temmar	El Ouricia	Temmar	12	12	300 000	180 000	Irrigation 30
Zairi		Zairi	10.35	12	600 000	440 000	La pêche
Guergour	Ksar El Abtal	Guergour	/	/	1 380 000	550 000	Protection de la ville contre les inondations
Oumri	Ain Oulmène	Oumri	13.6	11	510 000	240 000	Protection de la ville contre les inondations
Tixter	Tixter W.BBA	Tixter	/	/	800 000	650 000	Irrigation
Total du bassin	/	/	/	/	6 090 000	3 590 000	

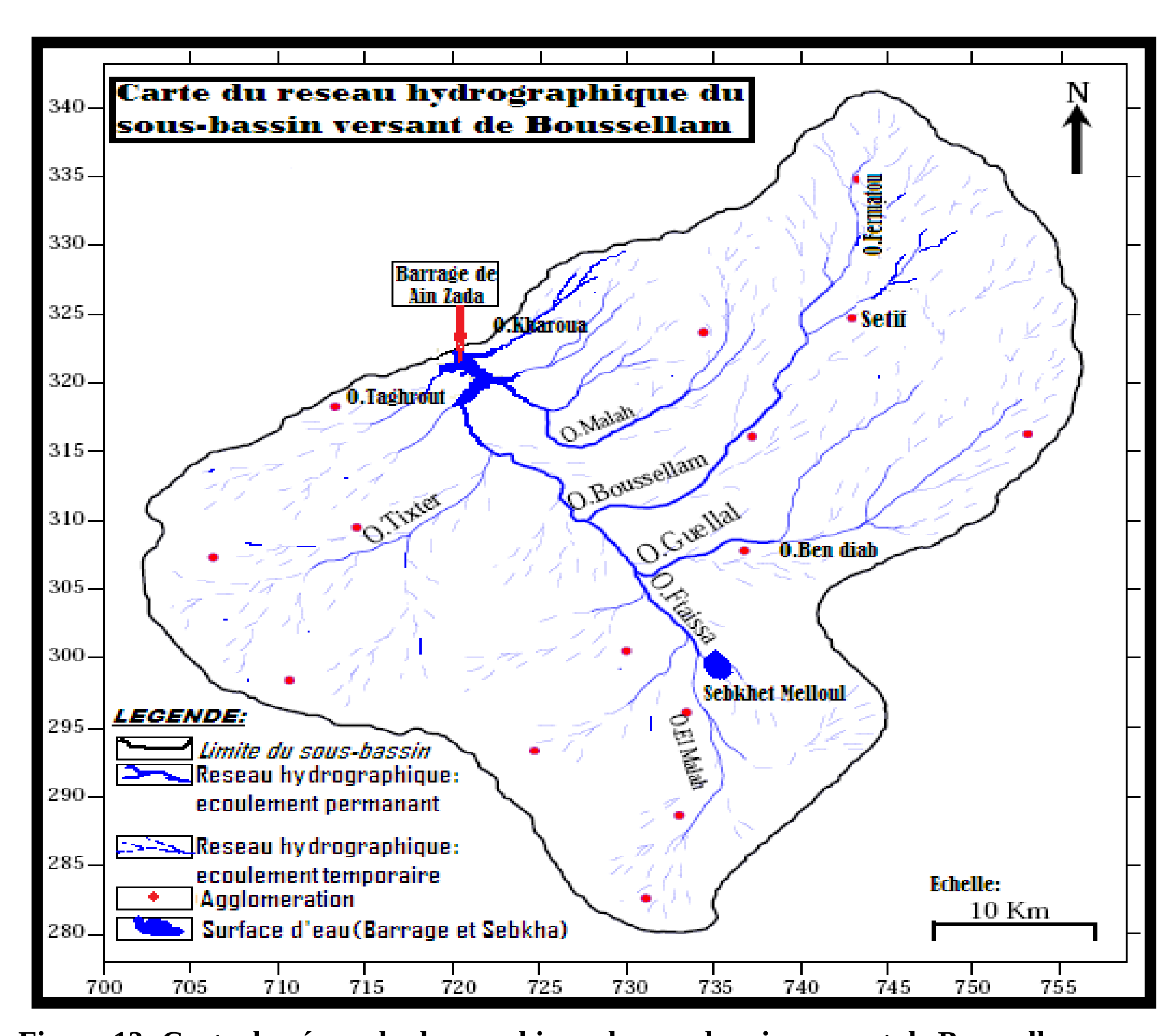


Figure.13: Carte du réseau hydrographique du sous bassin versant de Boussellam.

I.4.9. Conclusion :

L'analyse morphométrique nous permet d'évaluer un certain nombre de paramètre très importants qui doivent être étroitement liés à la nature lithologique du terrain et la topographie du bassin.

Le sous bassin de Boussellam amont d'une superficie de 1785 Km^2 est caractérisé par :

* Une forme allongée ce qui fait que les eaux précipitées mettent plus de temps pour atteindre l'exutoire le barrage de Ain zada, ceci est confirmé par les résultats du temps de concentration qui est de Tc= 27.19 heures, c'est une importante durée pour l'évaluation des crues.

* L'altitude moyenne du territoire du bassin est de 1000 m, elle donne l'aspect d'une morphométrie assez forte au sous bassin.

* La densité du drainage est de 3.03 km/km^2, ce qui entraîne un ruissellement un peu rapide des eaux, surtout que le bassin est caractérisé par un relief fort (250 m < Ds =365 m < 500 m selon la classification de ***l'O.R.S.T.O.M***).

CHAPITRE : II

CADRE GEOLOGIQUE ET STRATIGRAPHIQUE

CHAPITRE : II

CADRE GEOLOGIQUE ET STRATIGRAPHIQUE

II. La géologie de la zone d'étude :

Introduction :

Les travaux de M. Durant Delga, 1969, J.F. Raoult (1974), J.P. Bouilin (1977), et J.M. Vila (1980) dans l'Est algérien, ont pu mettre en évidence plusieurs unités tectoniques qui se présentent schématiquement du Nord au sud : Le socle métamorphique et la chaîne calcaire, les séries des flyschs (mauritaniens et massyliens) et les séries telliennes.

Recouvrant ces unités, on trouve les argiles et les grés numidiens, les formations continentales les post-nappes d'âge Miocène du bassin de Constantine et le Pliocène marin des plaines.

La géologie est l'étape nécessaire et importante dans l'étude hydrologique, hydrogéologique et hydrochimique, en outre, la lithologie, la tectonique et la structure jouent un rôle primordial dans la détermination des zones perméables et imperméables conditionnant la présence des aquifères.

II.1. Cadre géologique régional :

Du point de vue géologique régional, le sous bassin versant de Boussellam Amont fait partie à la chaîne tellienne qui constitue l'ossature des reliefs de tome l'Algérie du Nord s'étendant entre la mer méditerranée au Nord et les hautes plaines des lacs salés au Sud, cette oragénèse Magrébine elle-même qu'une partie des chaînes qui ceinturent la méditerranée occidentale depuis les Baléares jusqu'à GIBRALTAR et de ce point jusqu'au Confins Colabro-siciliens.

Cette oragénèse se décompose en plusieurs zones qui s'étendent du Nord au Sud.

II.1.1. Le socle métamorphique et la chaîne calcaire :

Le socle métamorphique constitué de formations Paléozoïques, se développe surtout en petite Kabylie comme substratum à la chaîne calcaire, il est formé de gneiss, de pylades de marne et de schistes.

II.1.2. L'Oligo-Miocéne kabyle (zone interne ou kabyle) :

II constitue la couverture sédimentaire du socle kabyle, c'est une formation détritique comportant un terme basal conglomératique, un terme médian formé de grés micacés et un terme supérieur constitué de silex.

II.1.3. Les séries telliennes :

Ce sont des formations qui comprennent plusieurs unités qui s'étendent au Nord Ouest de Sétif :

II.1.3.1. Le sillon tellien :

- **Les Babors :** à relief de calcaire jurassique, masqué par des discordances internes (Néoconien, Cénomanien, Santonien).
- **Les zones telliennes proprement dite :** ou l'on trouve
  - ✓ Les Crétacés supérieurs
  - ✓ Paléocènes marneux
  - ✓ Eocène moyen, marneux
  - ✓ Calcaire à silex
  - ✓ Eocène moyen supérieur marneux

II.1.3.2. L'avant pays des formations telliennes :

Il s'agit des formations calcaires du massif Guergour, ainsi ou leurs équivalents se trouvent à djebel Zdimm, Youssef, Braou, Kalaoun, et Sekrine, les formations constituent un parautochtone caractérisé à sa base par des contactes anormaux de chevauchements importants.

Les formations autochtones sont représentées par le massif du mont de Hodna constituant le début de l'atlas saharien qui développe ses grandes structures plissées et faillées jusqu'au portes du désert, du Nord au Sud de la région de Sétif on distingue les unités suivantes:

- **Les séries des flyschs :**

Trois séries caractéristiques ont été définies: se sont les flyschs mauritaniens, les flyschs massyliens, et les flyschs numidiens.

-Les flyschs mauritaniens :

Le flysch joue un rôle important dans la morphologie, en effet, cette série est composée d'alternance de bancs argileux, calcaire et gréseux, d'âge allant du dogger au Lutécien.

-Le flysch massylien :

C'est une alternance de micro-brèches, de phtanites et d'argiles quartziques d'âge Albo-sénonien, Les flyschs à micro-brèches sont associés à des marnes grises et des calcaires fins jaunes et rosés, Les flyschs Argilo-quartzeux se présentent sous forme de bancs minces.
Le niveau à phtanites montre des calcaires microbréchique.

-Le flysch numidien :

Cette série se compose de grés alternant avec des argiles, les argiles de couleur verdâtre à rouge sombre, présentent des intercalations de silexites. En générale, les flyschs s'étend au Nord Ouest du sous bassins de Oued Boussellam

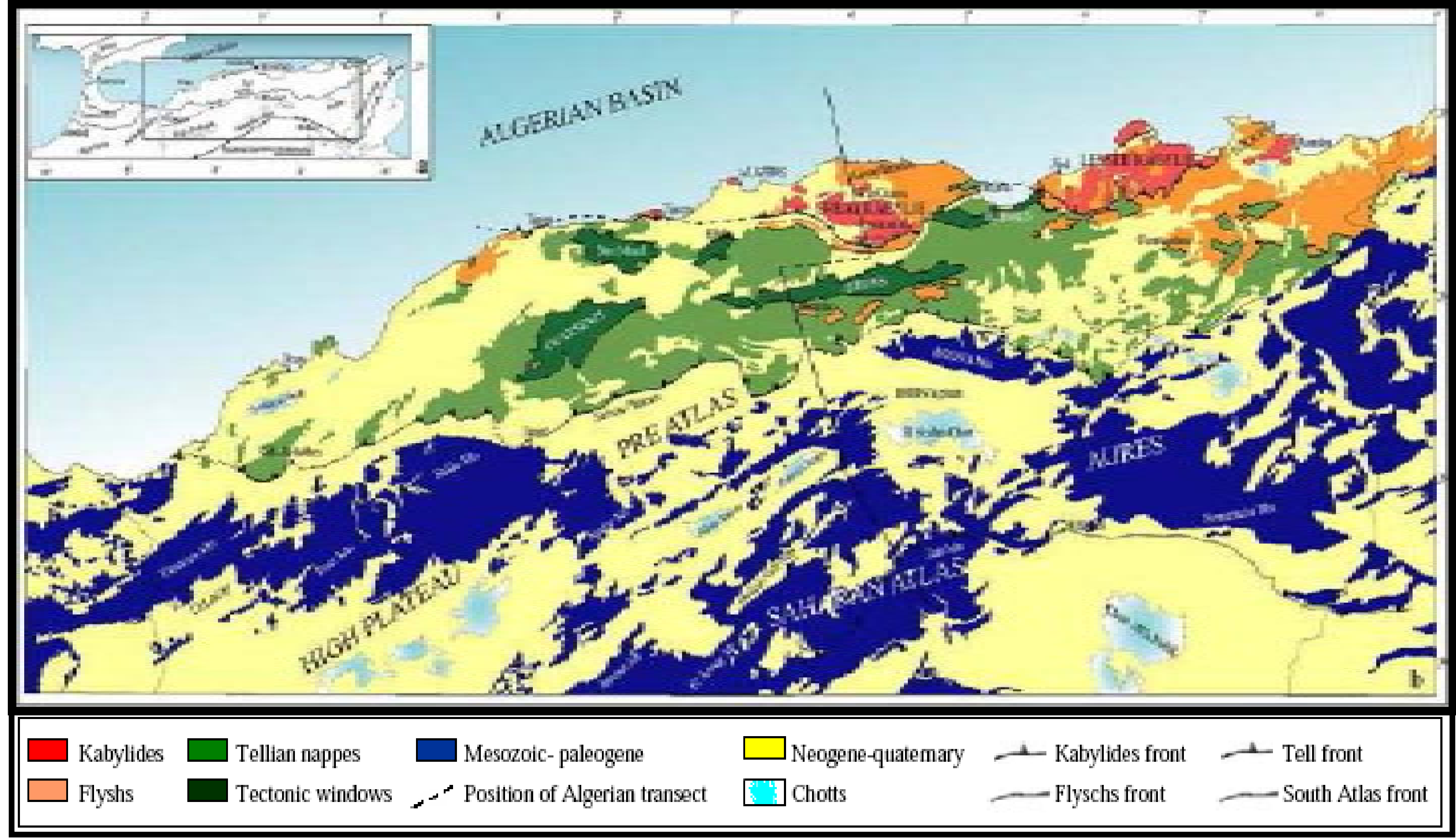


Figure.14: Carte structurale de l'Algérie du Nord (modifié d'après la carte géologique de l'Algérie à 1:500 000 et [27,50])(a. carte de localisation)

II.2 Géologie locale :

La zone d'étude appartient aux hautes plaines sétifiènnes. Parmi les auteurs qui ont travaillé dans la région on peut citer J.Savornin (1920), R.Guiroux (1973) qui ont pu faire de nouvelles datations des formations géologiques de Dj Braou et Dj Youssef. J.M.Villa et M.Leikine avec leur mise en valeur de la région de Sétif ont précisé la cartographie des hautes plaines Sétifiènnes. Cette région est le siège de deux types de formations .Ceux qui sont peu ou pas tectonisées comme ceux du Quaternaire et ceux qui sont tectonisées pour le reste des terrains, qui sont les ensembles structuraux suivants du Nord au Sud et de haut en bas : (figure.14)

A: Les formations quaternaires et néogènes peu tectonisées.
B: Nappes de flyschs
C: Les nappes telliennes.
D: Nappe du djebel Sattor et unité Eocènes à nummulites et huîtres
E: L'ensemble allochtone sud sétifien.
F: L'ensemble parautochtone et autochtone hodnéen.
G: Le Trias exotique ou extrusif.

Pour mieux comprendre la géologie de la région, on a étudié séparément chaque unité.

II.2.A/ Les formations quaternaires et néogènes peu ou pas tectonisées :

A.1/Quaternaire :

A.1.1/Alluvions actuelles et récentes :(A)

Ce sont des sables, des limons, des graviers et des cailloutis. Ces formations se sont développées le long des oueds du bassin versant.

A.1.2/Terre Arable, Formation de pente; alluvions anciennes et quaternaire indéterminé :(Q)

Les terres arables sont installées sur des placages limoneux et supportent un sol brun peu ou pas calcaire, ils ont un intérêt agricole car se sont des formations qui portent les cultures.

A.1.3) Glacis polygéniques nappant les reliefs :(Qt)

On note un glacis ancien encrouté de cailloutis roulés, de teinte brun rougeâtre à morphologie typique de glacis, visible dans nos bassin uniquement autour des djebels Zdimm, dj Youssef, dj Sekrine.Les glacis polygéniques nappant les reliefs constituent la forme de relief caractéristique des hautes plaines sétifiènnes.

A.1.4) Villafranchien, croutes calcaires :(Qc)

Il est formé par les calcaires lacustres, des sols à croute calcaire et des cailloutis fluviatiles. Ces formations ont caractérisé les hautes plaines. Elles occupent presque tous le milieu du bassin surtout les environ de Mezloug et Guellal se sont des conglomérats situés sous les calcaires ; par des restes abondantes de vertébrés.

On distingue :

Un Villafranchien inferieur avec Anancus Osiris. ELéphas Aricanus. Huppopotamus Amphibus
Un Villafranchien supérieur avec Libythrium SP.



Figure 15 : Carte géologique du sous- bassin versant Boussellam Amont Extraite de la carte géologique de Sétif au 1/200000 (J.M.Vila, 1980

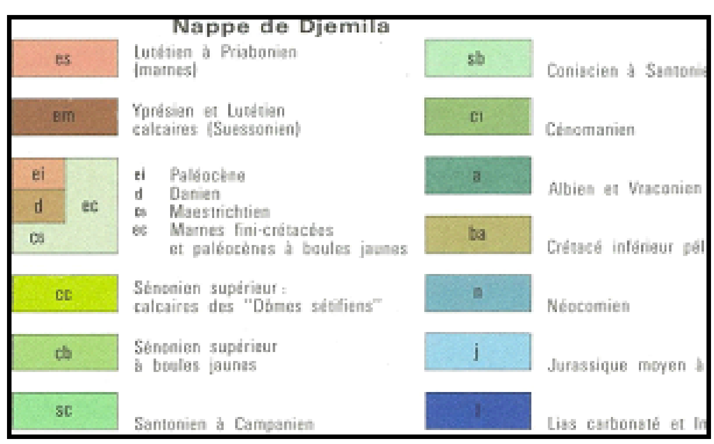
LEGENDE:

FORMATIONS PEU OU PAS TECTONISÉES

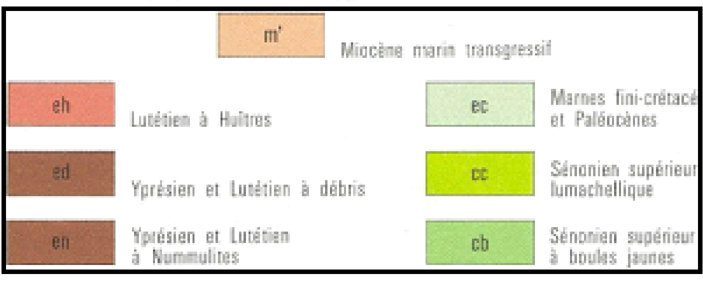
Quaternaire



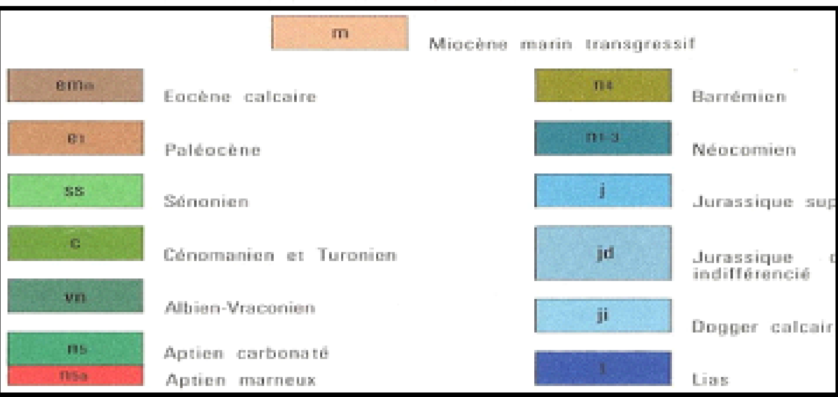
NAPPES TELLIENNES



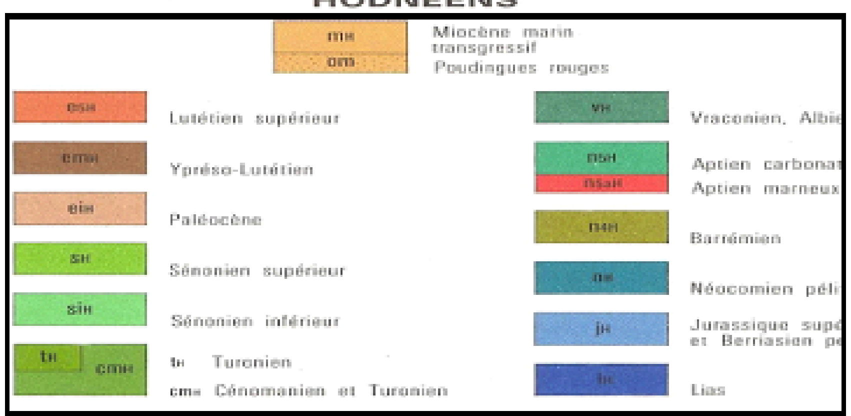
Nappe du Djebel Sattor



ENSEMBLE ALLOCHTONE SUD-SÉTIFIEN

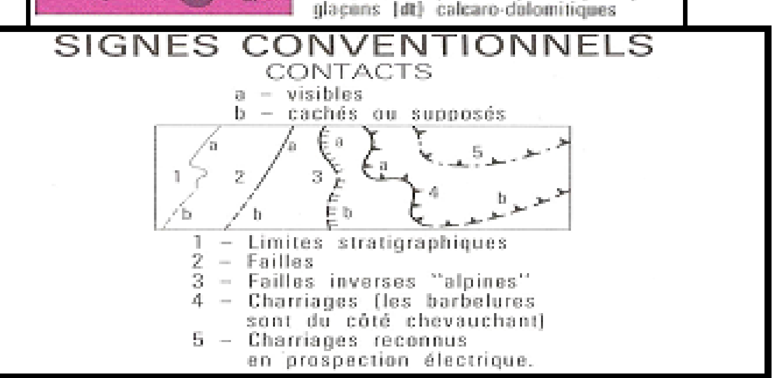


PARAUTOCHTONE ET AUTOCHTONE HODNÉENS



TRIAS EXOTIQUE OU EXTRUSIF





A.1.5) Sols de Sebkhats (S, Qs) :

Ce sont des vases salées qui garnissent Sebkhat Melloul ; Sebkhat Bazer, chotte El Frain, sebkhat el-Hamiet et Chott El Beida .Ces vases sont périodiquement inondables surtout pendant la saison des pluies et couvertes par des croutes salines pendant la saison sèche.

A.1.6/Formations dunaires (Qd) :

Ce sont des amas réalisés de sable calcareux et de poussières limoneuses à des débris coquilliers fin ou des végétaux, ils sont visibles autour de Sebkhat Melloul.

A.1.7/Tuf hydrothermal (Qf) :

Ils correspondent aux surfaces planes ou faiblement inclinées de Hammam Guergour sur les revers Nord du djebel Medjounes, il s'agit des surfaces modestes liées à des sources chaudes, toujours plus ou moins en activité associée à des failles normales très récentes.

A.1.8/Mio–Pliocène continental (mp) :

Il est formé par des limons et des conglomérats rouges, des poudingues, des argiles gypseuses, c'est un ensemble très complexe de formations continentales occupant de vastes espaces dans le bassin d'étude au nord et autour du barrage de Ain zada. On a également des conglomérats à gros graviers surmontés par des argiles grises rougeâtres à niveau micro conglomératiques avec un niveau de lignite d'épaisseur 40m. Au dessus de cette série ,on a des argiles et des marnes parfois gypsifères alternent des calcaires lacustres dont l'épaisseur varie entre (150-200) m. Au sommet , la série devient variable avec des intercalations lenticulaire, de poudingues grossiers ,des argiles ,à lentilles de lignite friable avec des lits gréseux gypsifères à petit bancs de calcaires .l'épaisseur varie entre 150 à200m, la série se termine par des dépôts fluviaux–lacustres de constitutions variées : poudingues, calcaires stratifiés, lentilles de cailloutis et d'argile noire. L'épaisseur est de 150 m environ.

II.2. Formations tectonisées :

2. B Nappes de flyschs :

2. B.1/ Nappe numidienne (gN) :

Le sous bassin de oued Boussellam présente un seul affleurement en massif isolé à Djebel Megris au Nord de la ville de Sétif, le flysch numidien correspond à plusieurs centaines de mètres d'alternances de grés grossiers hétérométriques à dragées de quartz et d'argiles, c'est une série azoïque, on note que le bassin ne renferme aucun affleurement de nappes de flysch mauritanien et massylien.

2. C. Nappes telliennes :

2. C.1/ Nappe de type DRAA et ARBA :

Les affleurements de cette unité sont situés à la bordure septentrionale du bassin formé par:

2. C.1.1/Sénonien (cu) :

Ce sont des formations marneuses et marno-calcaires, visible comme affleurement au nord du bassin à proximité de Djebel Megris.

2. C.2/ Nappe de type BENI ABDELLAH :

Cette nappe affleure loin du bassin cote NW, elle est constituée des klippes des Beni Abdellah et de Ras El Fedh Nord de Ain Roua et un lambeau sous le numidien du djebel Chauf Karoun.

2. C.3/ Unité supérieure à matériel Eocène :

Située au Nord et au Nord-Ouest du bassin du côté droit du barrage de Ain zada, il s'agit de 1'Ypréssien et Lutétien, elle est formée par les calcaires marneux.

2. C.4/ Nappe de Djemila et unité inférieur à matériel Eocène :

Elle occupe la totalité de la partie Nord du bassin, on rencontre

2. C.4.1/ Le Lutétien et Priabonien(es):

Ce sont des marnes qui présentent un affleurement très réduit au Nord du bassin. Le lutétien supérieur et le début du Priabonien sont représentés par une épaisse formation (600m) de marnes brunes ou grises foncées. L'essentiel de la masse marneuse correspond au Lutétien supérieur, la base de la série appartient au Lutétien inférieur.

2. C.4.2/Ypréssien et Lutétien (em):

Ce sont des calcaires marneux noirâtres parfois à intercalations décimétrique de calcaire gréseux roux situé au Nord du bassin , la série débute par une vingtaine de mètres de calcaires marneux noirâtres contenant parfois des intercalations décimétriques de calcaires gréseux roux, surmontées par des calcaires massifs gris ou blanc avec une épaisseur de 80m. La série se termine par 100m d'alternance de marnes et de marno-calcaires sombres.

2. C.4.3/ Paléocène (ec-ei):

Ce sont des marnes noires ou brunes à rares boules jaunes avec, au sommet des alternances de marnes grises et de marno-calcaires peut atteindre 200m d'épaisseur mais à affleurement très réduites à la limite Ouest du bassin.

2. C.4.4/ Le Danien (ec-d) :

Il est représenté par une petite barre de calcaires gris marneux à patine orangée alternant avec des marnes noires. Sous la barre du Danien, les marnes noires se poursuivent sur une épaisseur pouvant atteindre les 400m.

2. C.4.5/ Marnes finies Crétacées et Paléocènes (ec-ec) :

Ce sont des marnes qui affleurent au Nord du bassin, le Danien existe toujours mais il ne correspond plus à un repère carbonaté. Cela rend les faciès marneux très monotones. La présence constante dans cette masse marneuse de phénomènes intenses de désharmonie oblige à mentionner un ensemble marneux fini crétacé et paléocène.

2. C.4.6/ Sénonien supérieur calcaires des dômes setifiens (cc) :

Le Companien supérieur et le Mæstrichtien, sont des calcaires lités en alternance avec des bancs marneux affleurent au Nord et Nord-Ouest du bassin ne comprend qu'une dizaine de mètres de marnes sombres

2. C.4.7/ Sénonien inferieur à boules jaunes (cb) :

Il est représenté par des marnes sombres à boules jaunes au Nord du bassin. Il représente le repère le plus constant dans le Crétacé de la nappe de Djemila car il ne montre guère de variations.

2. C.4.8/ Santonien à Campanien (sc):

Au nord du bassin a Djebel Matrona , ils correspondent à des marnes et marnocalcaires. Alors que au nord-est de la région d'étude, le Santonien est discordant et possède à sa base de puissantes lentilles conglomératiques; leurs éléments contiennent du Lias, du Jurassique, du Trias et des blocs minéralisés. Dans les secteurs méridionaux de la nappe de Djemila, à oued Sabor, la série devient franchement calcaire.

2. C.4.9/Coniacien à Santonien (sb):

Ce sont des marnes grises avec de petits bancs de marno-calcaires gris.ces formations affleurent au Nord du bassin surtout au pied de Djebel Anini.

2. C.4.10/ Cénomanien(Cl):

Il est représenté par des niveaux conglomératiques et des minces niveaux marneux associés qui indiquent le Cénomanien inférieur ou moyen, affleure plus loin du bassin versant cote Nord-est du bassin.

2. C.4.11/ L'Albien et Vraconien (a):

Sont représentés par des argiles et de pelites sombres. La série devient marneuse au sommet. Cette série n'affleure pas dans le bassin d'étude.

2. C.4.12/ Le Crétacé inférieur (ba):

C'est une série pélitique représentée par des schistes noirs ou gris vert à lentilles conglomératiques. La base est plus calcaire et reste schisteuse. Cette série constitue l'Aptien, au-dessous on a le Barrémien. n'affleure pas dans le bassin d'étude.

2. C.4.13/ Le Jurassique moyen et supérieur (j):

Le Jurassique moyen est représenté par des calcaires gris et des marno-calcaires siliceux riches en (filaments) surmontés par des calcaires siliceux fins roses ou verts du Jurassique supérieur ; affleure à l'aval du bassin au Djebel de hammam Guergour.

2. C.4.14/ Le Lias carbonate et l'infralias (l):

Le Lias inférieur est représenté par des masses calcaires massifs ou dolomitiques surmontées par un Lias supérieur formé d'une succession régulière de bancs de calcaires décimétriques séparés par des lits pélitiques clairs du Toarcien, Cette série n'affleure pas dans le bassin d'étude.

2.D/ Nappe du djebel Sattor et unité Eocènes à nummulites et huîtres :

Cette nappe est développée du Nord-ouest du bassin jusqu'au dépression située entre djebel Zdimm et djebel Hassane est représentée par :

2. D.1/Miocène marin transgressif (m^1):

Il est formé de quelques mètres de conglomérats rougeâtres ravinant les formations sous – jacentes avec une forte discordance angulaire, surmontées par 250 à 300m de grés calcareux.

2. D.2/ Lutétien à huîtres (eh) :

Il est constitué d'une centaine de mètres de marnes jaunes très riches en intercalations Lumachelliques.

2. D.3 /Yprésien et Lutétien a Nummulites (ed):

Sont représentés par une barre calcaire débutant par des niveaux phosphatés. Il s'agit d'un faciès très granuleux contenant des débris de Gastéropodes et lamellibranche. Dans la partie Est du bassin les calcaires contiennent des Nummulites

2. D.4/Marnes fini-Crétacé et Paléocènes (ec):

Ces formations marneuses affleurent très mal car elles sont habituellement encroûtées ; leur faciès est identique à celui de la nappe de Djemila mais d'une épaisseur beaucoup bien moindre.

2. D.5/ Sénonien supérieur lumachellique (cc):

Est représenté par deux faciès.

- Le premier lumachellique à boules jaunes; composé de bas en haut par de gros bancs lumachelliques associés à des marnes jaunes et à des calcaires.
- Le deuxième correspond aux marnes noires à boules jaunes affleurant très mal notamment aux environs d'Ain Taghrout et Tixter.

2. E/ Ensemble allochtone Sud- sétifien :

Dans le sous-bassin d'étude l'affleurement des formations géologiques de cet ensemble est visible au niveau des Djebels Guergour, Zdimm, Youssef, Braou, Sekrine, Hammam Ain El Hadjar, de la Koudiet Ettala et la série supérieure du Djebel Kalaoune. Il s'agit des formations géologiques suivantes :

2. E.1/ Miocène marin transgressif(m):

Le Miocène débute par des conglomérats rougeâtres qui ravinent son substratum, il repose sur le Barrémien et au dessus des calcaires gréseux roux et des biosparites. La série se termine par des marnes jaunâtres ou rosées dont l'épaisseur varie entre 200et 250 m.

2. E.2/Eocène calcaire (emn):

Ce sont des formations calcaires claires à silex renfermant des débris de Gastéropodes silicifiés (J. Savorin), des niveaux phosphatés à rares galets de silex.

2. E.3/ Paléocène (el):

Ce sont des marnes à débris d'Exogyra Overwegi et des argiles bru–jaunâtre en surface, grises en profondeur gypsifère avec des petits bancs de calcaire marneux. Les marnes n'ont fourni que des Ostracodes et comme microfaunes Globogérina et Globorotalia. L'épaisseur est de 40 m.

2. E.4/ Sénonien (ss):

Il affleure au Nord de Djebel Sekrine, Djebel Kalaoun et à la Koudiat Tella. L'épaisseur est de 100 m, parfois gréseux en bancs de 2m. Les calcaires sont à cassure brillante (biosparite à Bryozoaires Echinodermes). L'épaisseur est de 100 m, il s'agit de calcaires qui débutent par un haut Harground à l'Ouest de Dj. Zdimm.

2. E.5/Cénomanien et Turonien(c):

Ils correspondent à une barre carbonatée qui débute par des niveaux dolomitiques ; la formation devient micritique au sommet, affleure a l'ouest du bassin a kef della et au environ de djebel Zdimm cote sud.

2. E.6/ Albien –Vraconien (vn):

Il est formé par des argiles et des marnes, des grés et des biosparites à Mélobesoées. En dessous de la barre Cénomano-Turonienne avec des marnes jaunes contiennent des Echinides (Hemiaster batnensis, Hétérodiaderma Libycum). L'épaisseur est de 60 m, visible au Dj youssef, Dj Sekrine et a du Djebel Zdimm au centre et au sud du bassin.

2. E.7/ L'Aptien carbonaté (n5):

Il est représenté par 250 à 300 mètres de calcaires en gros bancs à Orbitolines, de calcaires grossiers ou noduleux à Rudistes avec de minces intercalations marneuses, affleure au Dj Sekrine et a du Djebel Zdimm au centre et au sud du bassin.

2. E.8/ Aptien marneux (n5a):

Dans cette formation dominent les marnes jaunâtres très caractéristiques, datées par Palobitobitolina lenticulaires. La série ne dépasse pas 60 m, ces formations affleurent au Dj Sekrine et a du Djebel Zdimm au centre et au sud du bassin.

2. E.9/ Barrémien (n4): calcaire massifs, dolomies marnes et grés.

C'est une formation complexe composée de calcaires, dolomies et de grés avec de minces intercalations gréseuses ou marneuses. Cette série à une épaisseur de 500 m, représentée au Djebel Youssef et Djebel Zdimm et Sekrine. C'est une série calcaro dolomitique et gréseuse à grosses barres dolomitiques rousses de 25 à 30 m d'épaisseur. Le Barrémien inferieur est caractérisé par Choffatella Décipiens, Salpingoporella Muchlbergi.Le Barrémien supérieur a livré Palorbitolina Lenticularis et les Dasycladacées.

2. E.10/ Néocomien (n1-3): Marnes à petits bancs, Calcaires bio- détritique à Ammonites.

Les faciès du Néocomien sont variables, il s'agit d'une série à dominance argileuse, riche en intercalations carbonatées, calcaires à Algues, Ammonites .L'épaisseur est de 100 m, avec la présence des Exogyras couloni, Nautiloculina sp, Milioles et Ostracodes, visible au Djebel Youssef et Djebel Sekrine.

2.E.11/Jurassique supérieure(j):Calcaire graveleux, calcaires à Clypeina et à Dasycladacées.

Le passage Crétacé–Jurassique est marqué par un faciès carbonatés graveleux beige à polypiers. L'épaisseur est de 20 m à Dj Sekrine, avec la présence de niveaux de débris de Gastéropodes silicifiés riches en Dasycladacées. Au sommet on a une masse de calcaire massif dont l'épaisseur est de 80 m riche en Kurribia Palastiniensis, Clypeina jurassica et Salpingoporella Annulata.

2. E.12/ Jurassique dolomitique indifférencié (jd):

Les dolomies jurassiques englobent de vastes lentilles de calcaires gris à grains fins en bancs de (20 –50) m avec des débris d'Ammonites au Djebel Youssef et Djebel Sekrine. L'épaisseur est de 150 m. Au sommet on à une masse dolomitique azoique

2. E.13/ Dogger (ji): Calcaire, Calcaire marneux lités.

C'est une formation de calcaire marneux fins à patines claire, à cassure grise d'une épaisseur de (250 – 300 m) avec à la base des niveaux gris bleu à rognons de silex roux. Ces niveaux contiennent des débris de Lamellibranches, Echinodermes. affleure au Dj.Sekrine au S.E du bassin

2. E.14/Le Lias (l):

Il correspond à une mince série argilo marneuse et à un ensemble dolomitique d'épaisseur dépassant une centaine de mètres (100m). représentée au Djebel Youssef au centre-est du bassin.

2. F/Ensemble parautochtone et autochtone Hodnéen:

Les formations parautochtones sont représentées par la série du col Tifelouine, Djebel Hadjar Labiod (Ain Azel) et Djebel Gouzi, les séries autochtones occupent une mince frange au sud du bassin. Le parautochtone et l'autochtone sont représentés par les formations géologiques suivantes:

2. F.1/ Miocène marin transgressif (mH): Conglomérats, marnes jaunes à huitres.

Il débute par des poudingues rouges et des grés roux. Les poudingues remanient de gros blocs d'Eocène à silex et des calcaires gréseux du Crétacé supérieur. Au dessus repose une centaine de mètres de calcaires gréseux surmontés d'une puissante série marneuse avec des intercalations gréseuses et calcareuses. Miocène varie de (200 – 250 m), ces formations affleurent au Sud du bassin à Djebel Hassan et au sud de Dj Sekrine.

2. F.2/Oligo –Miocène (om):Argile et Poudingues rouges.

Série absente dans le bassin versant

2. F.3/Lutétien supérieur (e5H) :

Il débute par des niveaux dolomitiques massifs au-dessus desquels vient une série de calcaires grisâtres, lités, marneux ou gréseux alternant avec des marnes grises ; cette formation affleure au Sud-ouest du bassin à Djebel Hassan.

2. F.4/Ypréso-lutétien (emH) :

II est constitué essentiellement par des calcaires à silex et des niveaux Calcaires phosphatés et couches à Thersitées cet ensemble qui affleure au Sud-Ouest du bassin a Djebel Hassan ne dépassent pas les 100 m.

2. F.5/Dano –Paléocène à Yprésien : Marnes noirâtre (eiH) :

Il constitue la base du Tertiaire, comme il est représenté par des marnes Suessoniennes de J.Savornin correspondant aux marnes argileuses noirâtres, avec des rares intercalations de Lumachelles, avec Exogyra –Overwegi, cette formation affleure loin du cote Sud-Ouest du bassin au environ de Ras el oued.

2. F.6/Sénonien Supérieur (sH):Marnes à galets marno calcaires et calcaires parfois gréseux.

Le Campanien commence par une série marneuse avec des intercalations Lumachelliques, puis vient le Maestrichtien avec les calcaires .L’ensemble ne dépasse pas 350-400 m .La microfaune benthonique est très abondante avec des Orbitoides Média Cuneolina sp et des Milioles formation affleure au sud du et au Sud-Ouest au environ de Ras el oued.

2. F.7/Sénonien inferieur (siH): Marnes sableuses à galets, Calcaires, calcaires marneux.

La série ne dépasse pas 150 m d’épaisseur et montre des marnes jaunes verdâtres, sableuses à petits galets roulés (grés, silex) et une barre de quelques mètres de calcaires à galets dans les marnes. La série se rencontre à la périphérie du Djebel Otsmane et l’anticlinale de Ouled Tebbane, Dans le bassin versant de Boussellam.

2. F.8/ Turonien (tH): calcaro-dolomitique

II est constitué essentiellement par une série calcaro-dolomitique qui affleure loin du cote Sud-ouest du bassin aux mots du Hodna.

2. F.9/Cénomanien supérieur Turonien (cmH):Calcaire massifs et biomicrites à Miliolidés.

Cette barre calcaire s’affleure aux pieds du Djebel kennder et Djebel Otsmane. A la base des calcaires à rognons de silex clairs et à lits de chailles blanches ou beiges contenants Pseudorhepydionina Dubia, Spiroloculina Sp,Valvulimina Picardi, c’est le Cénomanien supérieur l’épaisseur est de 100 m. Au dessus, des marnes et des calcaires dolomitiques à débris d’Hippuritidés représentante le Turonien l’épaisseur est de 100 m.

2. F.10/Le Vraconien, Albien (vH) :

L’Albien est représenté par des calcaires gris noduleux parfois micro bréchoides alternant avec des marnes grises, parfois schisteuses. Cet ensemble affleure aux pieds du Djebel kenneder et de Djebel Otsmane au sud du bassin, le Vraconien repose directement sur l’Aptien calcaire.

2. F.11/Aptien Carbonaté (n5H) : dolomie et calcaire à Orbitolines.

La série commence par une barre dolomitique de (10 -15) m d’épaisseur, se poursuit par des calcaires en gros bancs bien lités riches en Rudistes à Huitres et à Orbitolines. L’ensemble a une épaisseur de (300-350) m, affleure a Dj Sekrine et aux pieds du Djebel kennder et de Djebel labiod au sud du bassin, les derniers 100 m sont des calcaires riches en Milioles et en Ovalvéoline.

2. F.12/ Aptien marneux (n5aH):

Cette formation de (60 – 80) m d'épaisseur est à dominance marneuse avec des intercalations d'argiles verdâtre dures et de petits bancs de grés et de calcaires marneux. Les marnes ont livré Exogyra Latissima et Toucassia Carinata, affleure a Dj Sekrine et aux pieds du Djebel kennder et de Djebel lebiod au sud du bassin.

2. F.13/Barrémien (n4H): Grés, Calcaire, Dolomie et petits niveaux marneux.

La lithologie du Barrémien est très variée, on y rencontre des dolomies, des grés roux, des intercalations argileuses et marneuses, des calcaires divers, cet ensemble affleure aux Djebel kennder au sud du bassin d'une épaisseur varie de entre 650 et700m.

2.F.14/Néocomien pélitique(nH):Argile pélitique,grés, marnes à Ammonites et Brachiopodes.

Cette formation est visible a Djebel kennder et de Djebel labiod au sud du bassin. Ce sont des marno–calcaires et des marnes, au dessus se développent des argiles, des marnes et des pélites. L'épaisseur peut atteindre 300 m. Comme faune on a Aléctryonia ef, débris de Pyropes, Ammonites ; le sommet de la série est daté du Valenginien par la présence de phylocéras serum.

2. F.15/Jurassique supérieure et Beriasien Pélagique (jH):marnes et calcaires marneux.

C'est un ensemble marneux et surtout marno-calcaire riches en microfaune pélagique et en ammonites. affleure aux Djebel kennder et au de Djebel labiod au sud du bassin.

2. F.16/Le Lias(l):

Est représenté par une masse calcaro-dolomitique de 250 mètres d'épaisseur. Au sommet on constate des calcaires à silex représentant le Domérien. Le Toarcien est transgressif et représenté par des faciès marneux. affleure et au Djebel labiod au sud du bassin.

2. G/ Trias exotique ou extrusif(t) :

Il affleure en masse chaotique, sans aucune stratification au milieu du bassin et quelque petit affleurement au nord et au sud du bassin. Dans ces masses, divers éléments sont reconnaissables, calcaire dolomitique sombre dolomies noirâtres, cargneules jaunâtres, argiles bariolées, gypses roses ou blancs, des grés verdâtres à ciment argileux et des roches vertes altérées à tendance ophitique.

3/ Tectonique des différentes formations géologiques du bassin :

De point de vue structurale le bassin de Boussellam amant est caractérisé par la présence des formations des nappes de flyshes kabyles et les nappes telliennes au nord représentée par la nappe de Djemila, et les formations de l'ensemble allochtone Sud Sétifien et quelques formations de l'ensemble para-autochtone et autochtone Hodnéen au Sud, et par les formations Mio – Plio –Quaternaire au centre du bassin **Fig. N°15**

3.1/Nappes de flyschs :

Elle est présentée que par la nappe numidienne au Djebel Megris, qui affecte par un ensemble de failles de direction Nord-est au Sud Ouest. On note que le bassin ne renferme aucun affleurement de nappes de flysch mauritanien et massylien.

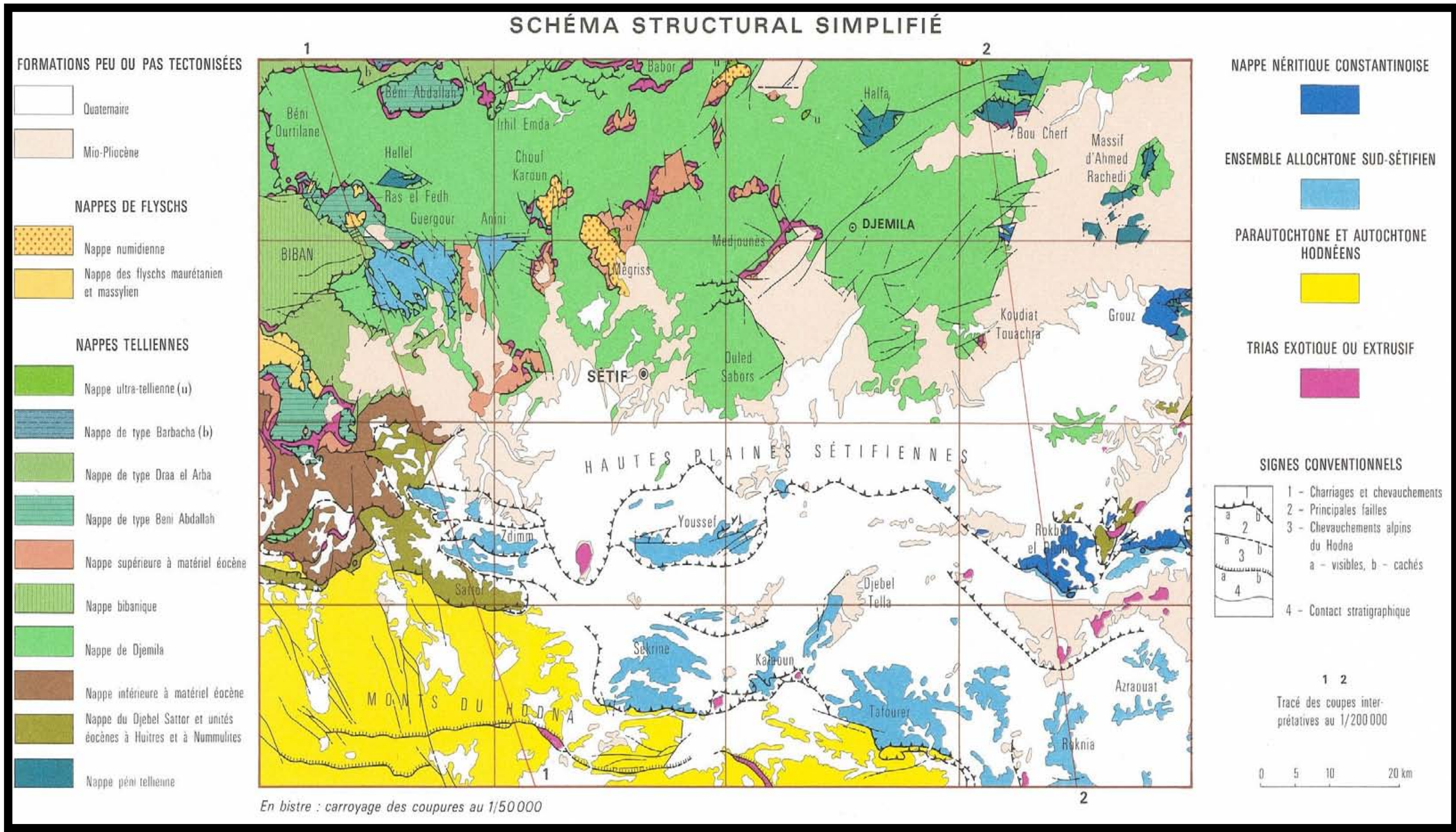


Figure.16: Carte géologique structurale simplifiée de la région de Sétif 1/200000 (D'après J.M.Villa 1980)

Coupe geologique interpretative (NNW-SSE)(1-1) de la carte structurale simplifie de la region de Setif au 1/200000 (D'apres J.M.Villa 1980)

Echelle:

Coupe geologique interpretative (NNW-SSE)(22) de la carte structurale simplifie de la region de Setif au 1/200000 (D'apres J.M.Villa 1980)

Echelle:

Fig.17:Coupes géologiques interprétatives (NNW-SSE) (1-1)et(2-2) de la carte structurale simplifiée de la région de Sétif 1/200000 (D'après J.M.Villa 1980)

3.2/ La nappe de Djemila :

Elle est caractérisée par la présence des plis de grand rayons de courbure qui déterminent les vastes anticlinaux de Djemila, Djebel Medjounes, au Nord-Est du bassin, ce sont des structures post nappe qui représentent une tectonique de disharmonie.

3.3/L'ensemble Allochtone Sud Sétifien :

Cet ensemble dans la région de Sétif comporte trois ensembles qui sont du Nord au Sud et du haut en bas :

Le système septentrional (Djebel Anini au Nord de Sétif), le domaine médian (Djebel Zdimm, Youssef, Braou et Tnoutit, l'ensemble méridional (Djebel Sekrine, Kalaoun, Koudiat Tella Djebel Tafourer).

3.3.1 Le domaine médian des Djebels Zdimm, Youssef, Braou, Tnoutit :

Le domaine possède une série carbonatée allant du Lias au Cénomanien. Cet ensemble est représenté par un anticlinal cisaillé au Djebel Yousef. Le contact de base des dolomies jurassique du Djebel Yousef est faiblement incliné vers le Nord. On note l'absence d'affleurements du Sénonien et de l'Eocène.

3.3.2 L'Ensemble méridional des Djebels Sekrine, Kalaoun, Tafourer et Koudiat Tella :

On observe le même dispositif structural, une masse de dolomie jurassique qui repose tectoniquement sur une série où le Miocène marin fossilise les structures cisaillées par le contact de base .On note aussi que cette série possède une mince couverture sénonienne et Eocène où l'abondance des biosparites (La présence de galets attestant un milieu agité) indique un milieu peut profond.

3.4/Ensemble parautochtone et autochtone Hodnéen:

Les formations parautochtones sont représentées par la série du col Tifelouine, Djebel Hadjar Labiod (Ain Azel) et Djebel Gouzi Au Sud-Est du bassin, les séries autochtones occupent une mince frange au sud du bassin.

3.5 Le Quaternaire :

On distingue trois types de dépôts, différents les uns des autres et étagés dans le paysage de la manière suivante.

❖ Les parties hautes caractérisent les glacis à surface tabulaire fossilisés par une croute calcaire qui peuvent avoir subit des mouvements tectoniques datés du Quaternaire ancien .Au dessous de ce niveau, on a des limons rouges profonds à taches calcaires datés de l'Amérien.

❖ A la base les limons rouges, On a un glacis à croute calcaire daté du Tensiftien

❖ Dans les parties les plus basses apparaissent les sédiments alluviaux localement hydromorphes ou même salés qui représentent les derniers dépôts du Quaternaire.

En bordure des Sebkhats dépourvues de toutes végétations, on note une ceinture d'Halophytes

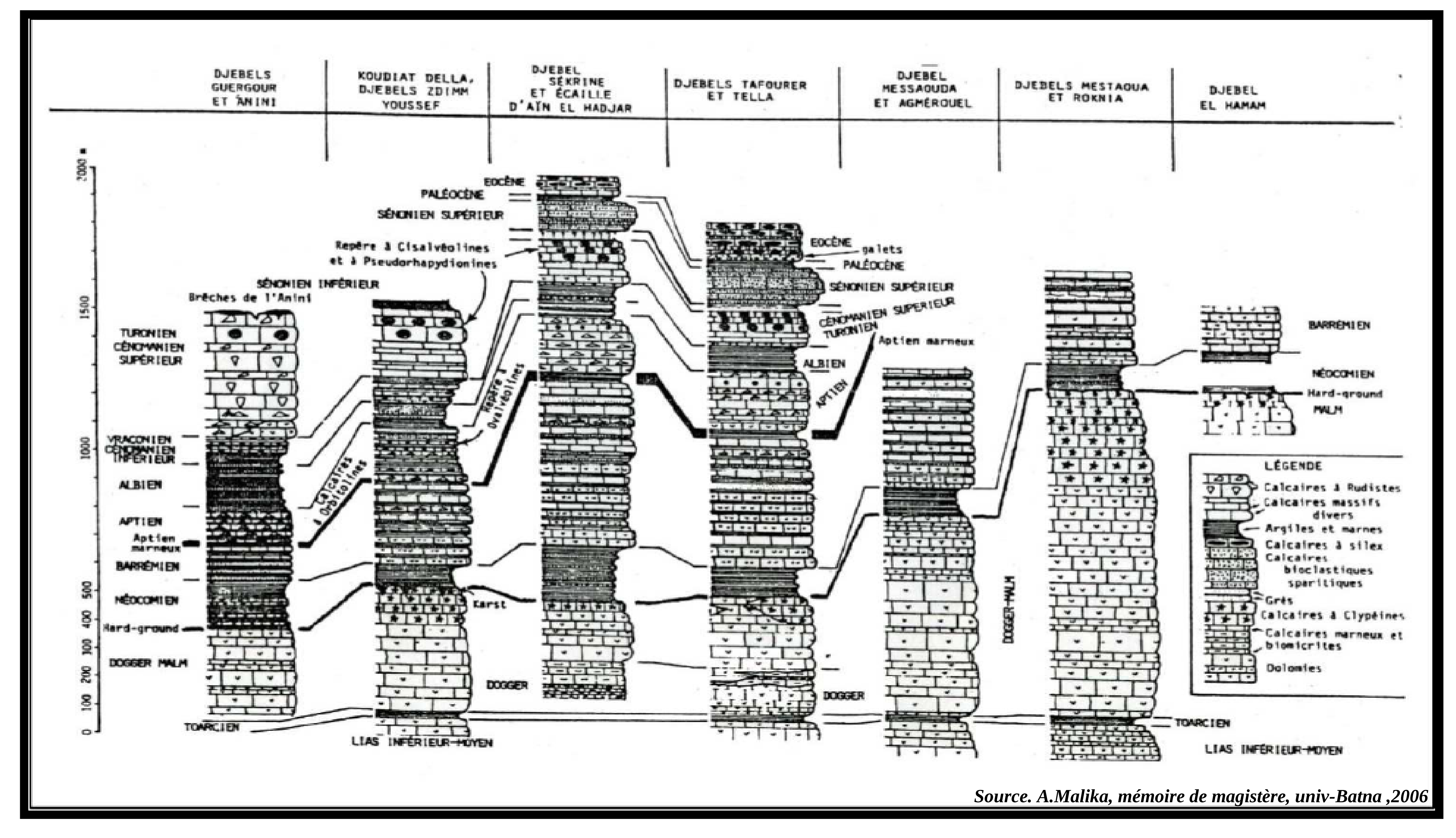


Figure.18 : **Tableau de corrélation des séries typiques de l'ensemble Sud-sétifien (D'après J.M.Villa1980)**

II.4. Les mouvements tectoniques dans le bassin :

D’une manière générale les structures actuelles du bassin de Boussellam sont la conséquence d’une tectonique intense, il s’agit de failles, de plis, de chevauchements et de nappes de charriage.

4.1/ Failles :

Les failles sont très nombreuses et visibles sur les formations carbonatées des limites, l’analyse des grands réseaux de faille permet de distinguer plusieurs ensembles :

- Un ensemble de failles de direction E-W qui domine à l’Est surtout à Dj. Youssef et Hadjar.
- Un ensemble de failles de direction NW et NE à SW surtout à Dj. Megris, Matrona et Youcef.
- Un ensemble de failles de direction NS qui affectent Dj. Zdimm et le Crétacé du Dj. Haddjar Labiad suit un Flanc Est.

4.2/ Les plis:

Les plis sont rencontrés dans ce bassin sous forme:

- D’anticlinaux qui forment l’ensemble des hauts reliefs et présentent deux axes de direction:
  - Soit Nord- ouest, Sud- est comme à Djebel Sekrine.
  - Soit Nord- est, Sud- ouest comme Dj. Haddjar Labiad.

Les synclinaux forment en général les dépressions, ces anticlinaux et synclinaux sont fréquents surtouts au Sud du bassin à Dj Kennder.

4.3/Tectonique tangentielle :

Le sous-bassin est traversé de l’Est à l’Ouest par plusieurs contacts anormaux qui prolongent toute la surface du Nord au Sud et l’Est à l’Ouest, l’épointement du Trias approximité du contact anormal laisse supposer qu’il aurait joué le rôle d’une semelle de glissement par sa construction plastique (marne, argile, gypse) ce qui a favorisé le glissement des nappes vers le Sud par une tectonique tangentielle.

5. Conclusion :

On a essayé à travers cette étude géologique de bien détailler la lithologie et la tectonique affectant le bassin de Boussellam amant de distinguer plusieurs formations selon leurs degrés de perméabilité afin d'avoir une meilleure vision de l'influence de ce facteur sur l'écoulement des eaux surtout les eaux superficielles. Pour cela la carte de perméabilité (fig.17) réalisée montre trois zones de perméabilité différente.

- ❖ Zones perméables : Formées par des alluvions, des calcaires et des grés fissurés.
- ❖ Zones perméables semi-perméables: Marnes, grés argileux, argile graveleux à alternance de calcaire.
- ❖ Zones imperméables : Marnes, et argiles.

Après l'étude lithologique du sous-bassin de Boussallem amant, on a remarqué que la lithologie est en majorité composée des formations perméables (environ 90% de la surface totale planimétrie), et une partie semi-perméable ou imperméable (environ 10 % de la superficie totale du sous bassin versant).

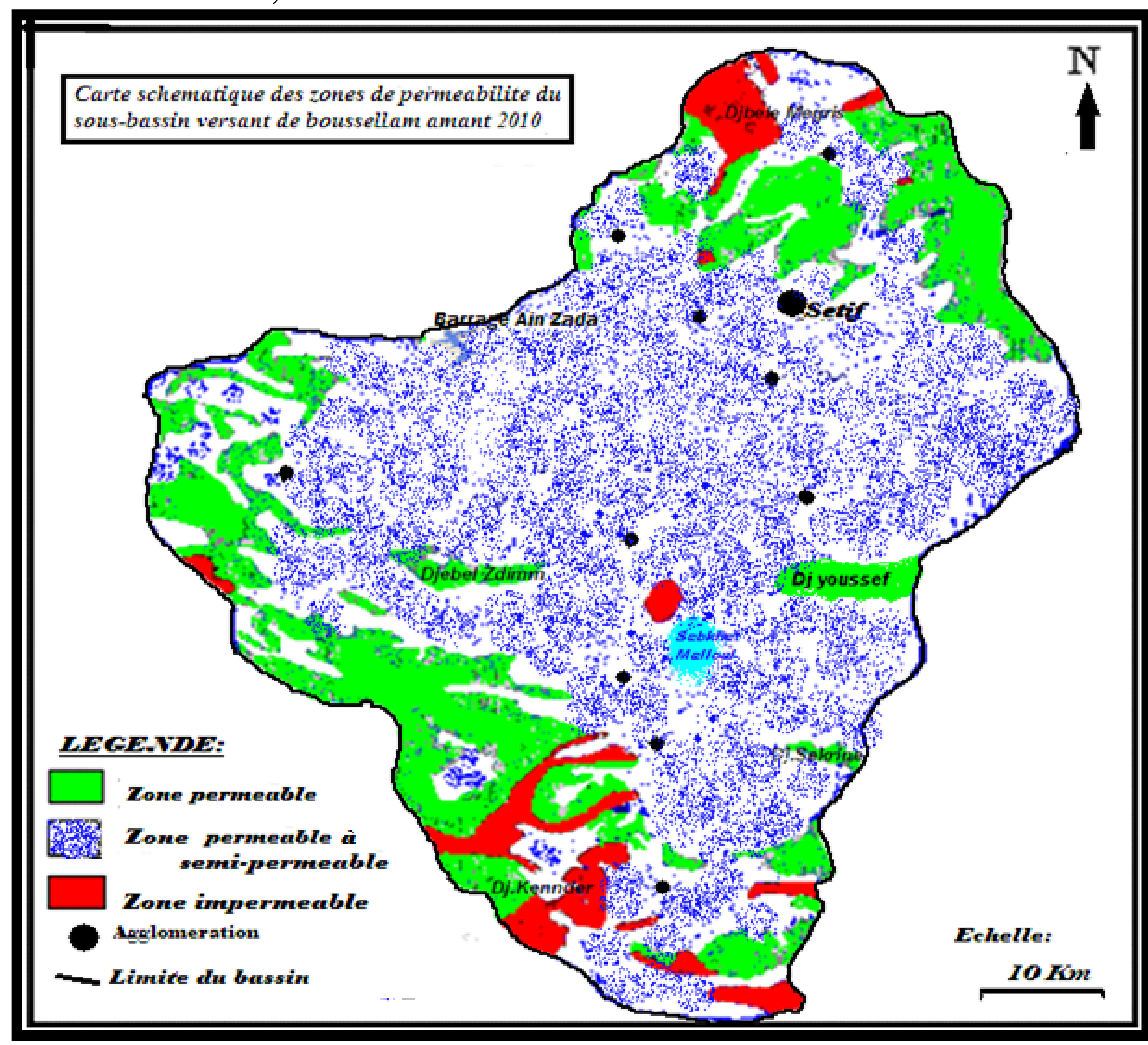


Figure .19 : Carte des zones de perméabilité à partir de la lithologie du sous-bassin versant de Oued Boussallem amont.

CHAPITRE:III

Etude Climatologique du Sous-bassin Versant de Boussellam amont.

CHAPITRE:III

Etude Climatologique du Sous-bassin Versant de Boussellam amont.

Introduction :

L'étude climatologique est d'une importance non négligeable, car elle permet d'analyser des facteurs importants comme la température et les précipitations qui conditionnent le bilan hydrologique et l'alimentation des barrages et même la recharge des aquifères.

1. Aperçu général sur le climat de la région :

Le climat de la zone d'étude le sous bassin versant de oued Boussellam est de type méditerranéen semi-aride, caractérisé par un hiver relativement tempéré et un été chaud et sec, cette zone est également caractérisée par une saison pluvieuse qui s'étale du mois de Septembre jusqu'au mois d'Avril ou parfois Mai qui annonce la fin de la saison humide (fig.20).

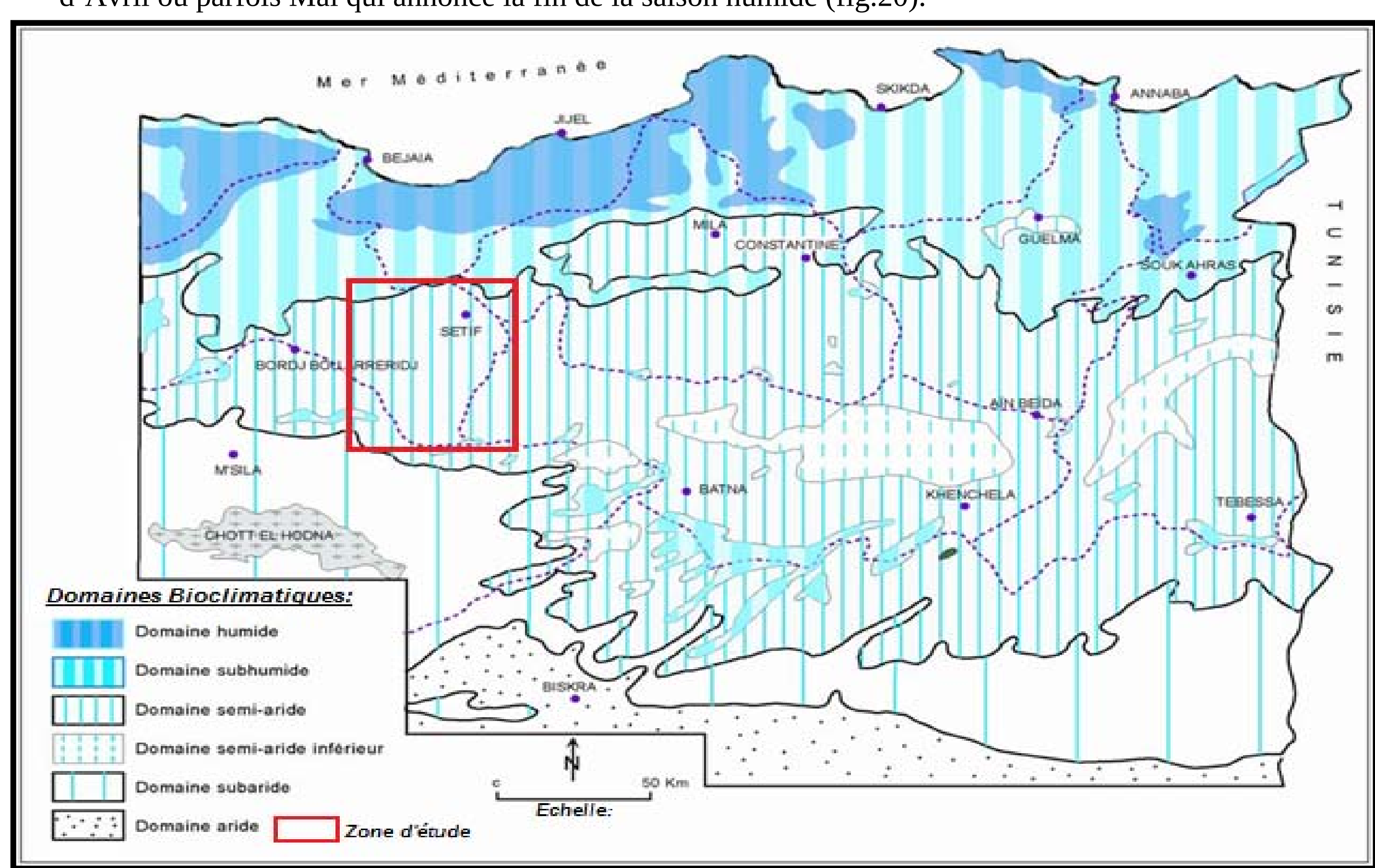


Figure.20: Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est Algérien (d'après A.Mébarki, 2005)

Cette zone est aussi caractérisée par la variabilité interannuelle des précipitations, où on remarque qu'une grande partie des pluies tombe sur cette zone en quelques semaines sous forme d'averses, et puis de grandes sécheresses s'annoncent après ces averses.

La carte des précipitations de l'Est algérien réalisée par ANRH en 1993 (fig.21), montre que la zone d'étude fait partie des régions à des précipitations variables à l'Algérie du Nord. Elle varie entre 300 et 700 mm/an.

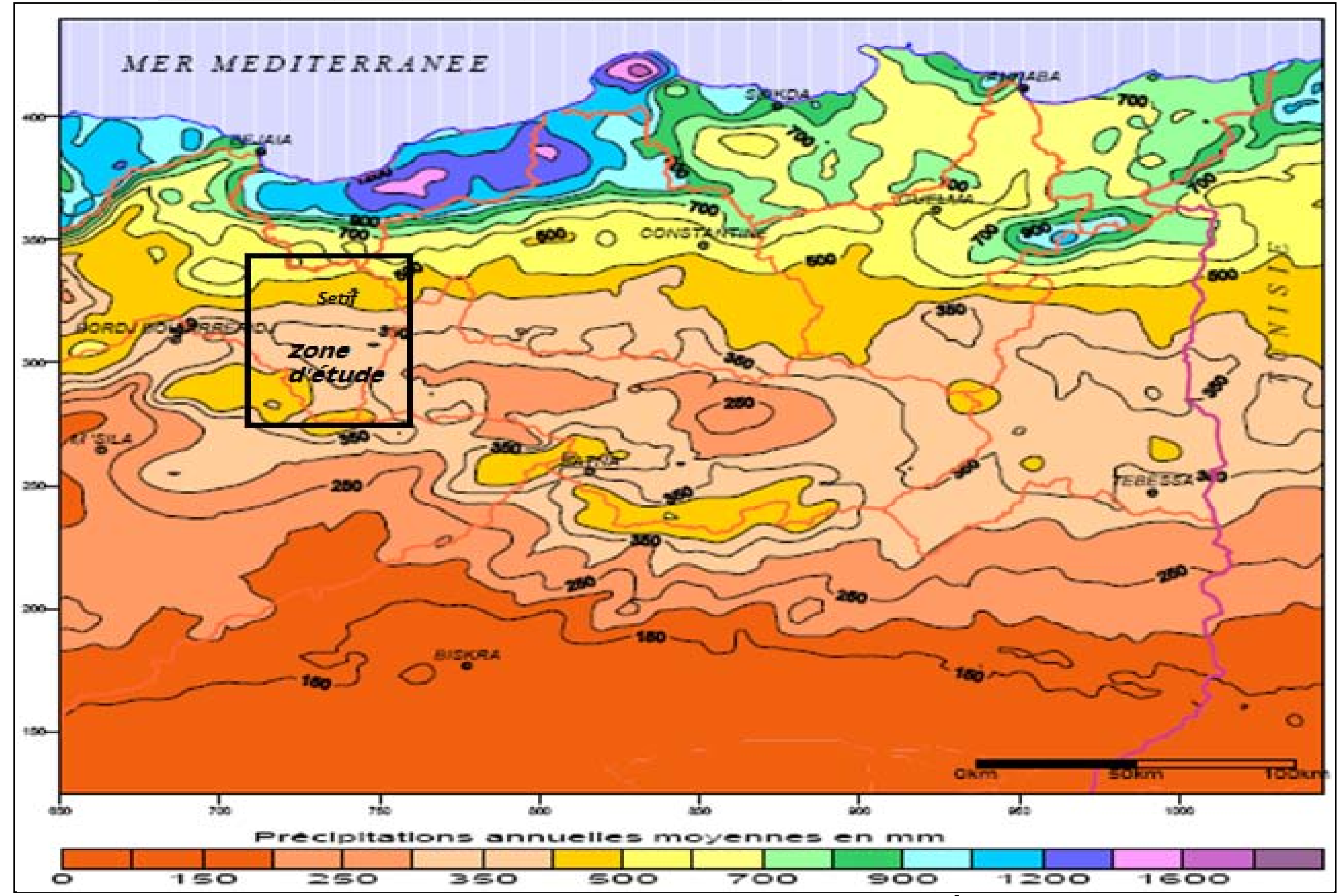


Figure.21: Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien (*Établie d'après ANRH 1993*)

1.1. Les précipitations : L'objet du présent chapitre sera l'étude de la variabilité des précipitations sur la base des données pluviométrique de 15 stations pluviométriques (tableau.09) implantées dans cette zone, l'examen des données relatives à ces stations ont permis de constater que:

- La répartition spatiale des stations pluviométriques est irrégulière.
- Les séries pluviométriques mises à notre disposition sont très hétérogènes.
- Pendant la décennie 1960-1970, on a une absence totale ou presque totale des données.

Tableau 09 : Caractéristiques des stations pluviométriques (anciennes et récentes)

N°	*Nom de la station*	*X*	*Y*	*Z*	*Période ancienne*	*Période récente*
01	*Ain Azel*	754,00	285,70	923	1914 -1938	1990 -2007
02	*Ain El Hadjar*	//	//	920	1922 -1962	//
03	*Ain Oulmène*	734,30	294,80	960	1919 -1962	1987 -2007
04	*Ain Roua*	723,08	339,95	1100	1927 -1938	//
05	*Ain Zada*	720.50	322.50	960	//	1989 -2009
06	*Bir Chouhada*	824,60	295,35	800	//	1968 -2009
07	*Bir El Arch*	782,30	319,04	1090	//	1972 -2009
08	*Bir Kasd Ali*	709.50	318.14	980	1922 -1960	1989 -2009
09	*Bougaâ*	//	//	886	1924 -1938	1970 -2007
10	*El Eulma*	769,50	321,00	960	1913 -1952	1971 -2007
11	*Oued El Ma*	//	//	1050	1922 -1958	1976 -2004
12	*Sériana*	740,10	321,85	970	1927 -1938	//
13	*Sétif*	742,70	323,10	1040	1913 -1968	1981 -2010
14	*Tadjnent*	795,65	318,80	850	1909 -1959	1970 -2009
15	*Tixter*	715.00	308.20	960	1922 -1960	1989 -2009

Source : ANRH Bordj Bou Arreridj et ANRH Constantine et O.N.M Sétif

Tableau 10 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles en mm (*série ancienne)*

Station	Période	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Ain Azel	1914 -1938	32	57	41	39	41	35	45	29	51	31	9	17	**427**
Ain El Hadjar	1922 -1962	30	37	33	33	29	26	30	33	41	14	6	14	**326**
Ain Oulmène	1919 -1962	30	39	32	33	34	24	32	34	36	24	11	10	**339**
Ain Roua	1927 -1938	40	54	57	110	111	83	81	67	56	30	10	11	**710**
Bir Kasd Ali	1922 -1960	29	36	41	49	40	43	38	36	43	18	7	7	**387**
Bougaâ	1924 -1938	33	49	72	82	94	61	57	50	54	21	7	12	**592**
El Eulma	1913 -1952	28	29	34	43	47	37	32	31	41	21	8	12	**363**
Oued El Ma	1922 -1958	36	44	40	45	48	34	48	43	43	19	7	12	**419**
Sériana	1927 -1938	27	27	44	28	48	34	53	52	53	27	5	10	**408**
Sétif	1913 -1968	34	38	43	51	52	38	38	35	44	28	11	17	**429**
Tadjnent	1909 -1959	33	41	36	42	48	40	38	39	47	24	12	15	**415**
Tixter	1922 -1960	30	31	42	37	39	38	38	35	48	19	7	13	**377**

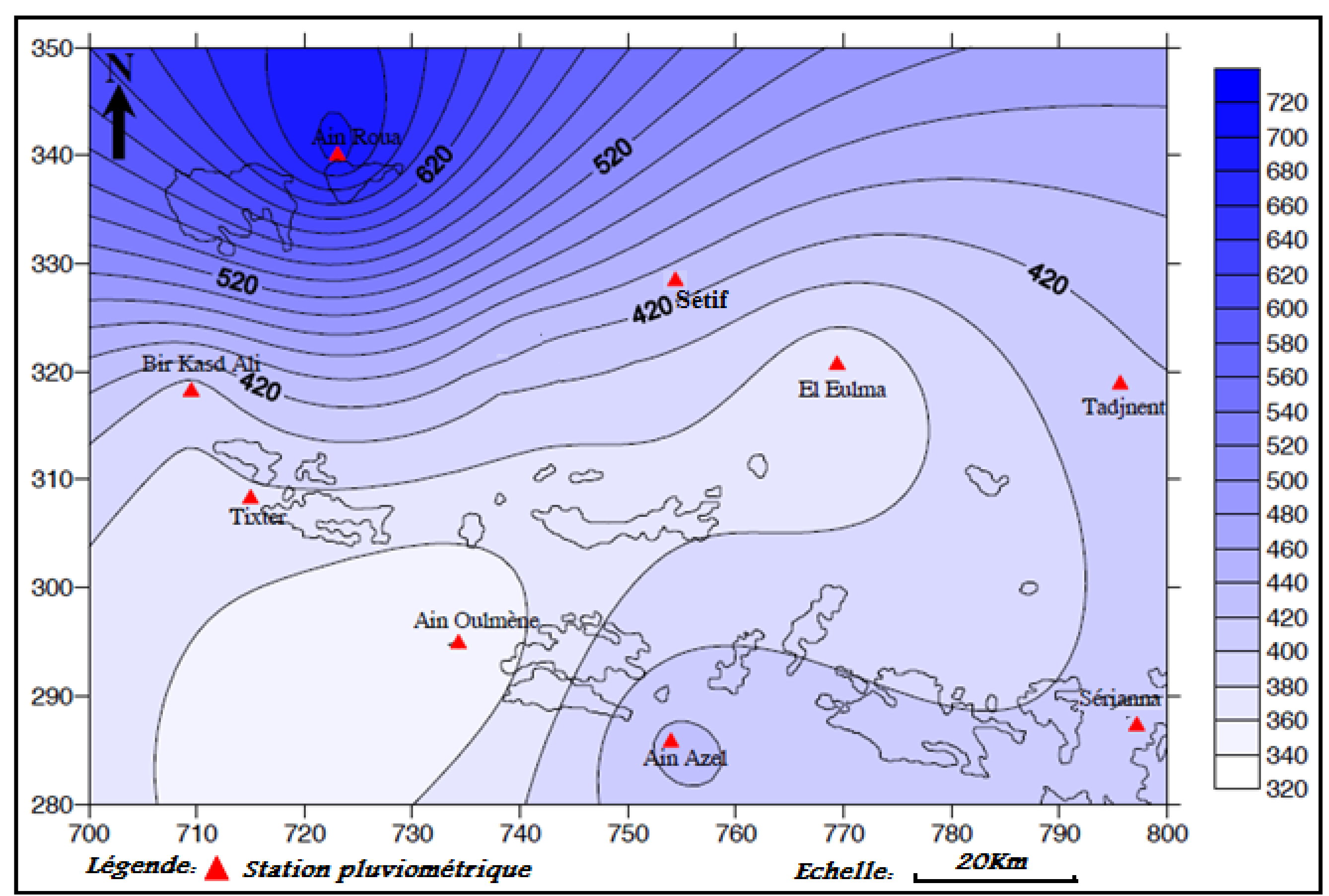


Figure. 22 : Précipitations moyennes interannuelles des stations pluviométriques des sous bassin Versant amont de Boussellam (série ancienne)

On remarque que les mois les moins pluvieux sont ceux de Juillet et Aout pour toutes les stations avec un minimum de 5 mm enregistré au mois de Juillet à la station de Sériana et un maximum de 17 mm enregistré au mois de Juin à la station de Sétif et Ain Azel. Par contre, les mois les plus pluvieux sont ceux de Décembre, Janvier et Février avec un minimum de 28 mm enregistré au mois de Février à la station de Sériana et un maximum de 111 mm enregistré au mois de Janvier à la station de Ain Roua (tableau.10), d'une manière générale la série ancienne présente une bonne répartition de la précipitation.

Tableau 11 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles en mm (*série récente*)

Station	Période	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Ain Azel	1990-2007	35,1	29,68	28,7	28,54	36,36	20,1	31,2	35,2	41,87	18,97	4,1	11,95	**321,67**
Ain Oulmène	1987-2007	33,66	27,42	29,48	46,1	30,59	22,17	29,12	36,54	42,85	27,99	10,49	15,37	**352,78**
Ain Zada	1986-2010	43,76	22,00	33,42	43,62	34,88	25,95	31,19	41,04	37,99	19,89	12,78	13,07	**359,58**
Bir Chouhada	1968-2009	30,21	26,96	22,61	35,9	37,1	22,83	35,23	33,2	30,3	30,37	4,82	11,57	**321,10**
Bir El Arch	1972-2009	37,03	25,12	25,47	31,82	27,57	28,38	33,63	37,3	34,4	20,9	5,61	11,99	**319,22**
Bir Kasd Ali	1989-2009	38,16	19,11	36,96	31,02	46,15	36,19	27,80	39,65	43,62	20,62	15,70	15,26	**370,24**
Bougaâ	1970-2007	36,24	31,19	15,06	44,03	66,75	50,19	41,82	61,38	39,17	10,53	4,33	9,73	**410,42**
El Eulma	1971-2007	43,06	26,73	34,33	45,62	52,57	43,02	43,17	45,29	37,05	25,12	4,33	15,91	**416,2**
Oued El Ma	1976-2004	25,82	27	35,52	37,08	34,15	28,33	29,41	35,66	31,63	19,46	1,05	9,73	**314.82**
Sétif	1981-2010	42,10	33,20	35,50	47,10	40,60	32,80	35,30	41	45,80	21,40	12,30	14,50	**401,60**
Tadjnent	1970-2009	35,46	23,46	33,98	36,31	32,89	25,59	35,21	40,81	37,85	19,08	8,25	16,5	**345,39**
Tixter	1981-2009	26,85	21,15	21,95	23,79	20,80	16,24	23,81	25,98	30,50	9,44	6,33	10,22	**237,06**
Ain Roua	1978 -2009	46,68	37,56	60,04	88,40	77,73	60,47	61,25	63,95	49,95	13,52	9,74	11,71	**581,0**

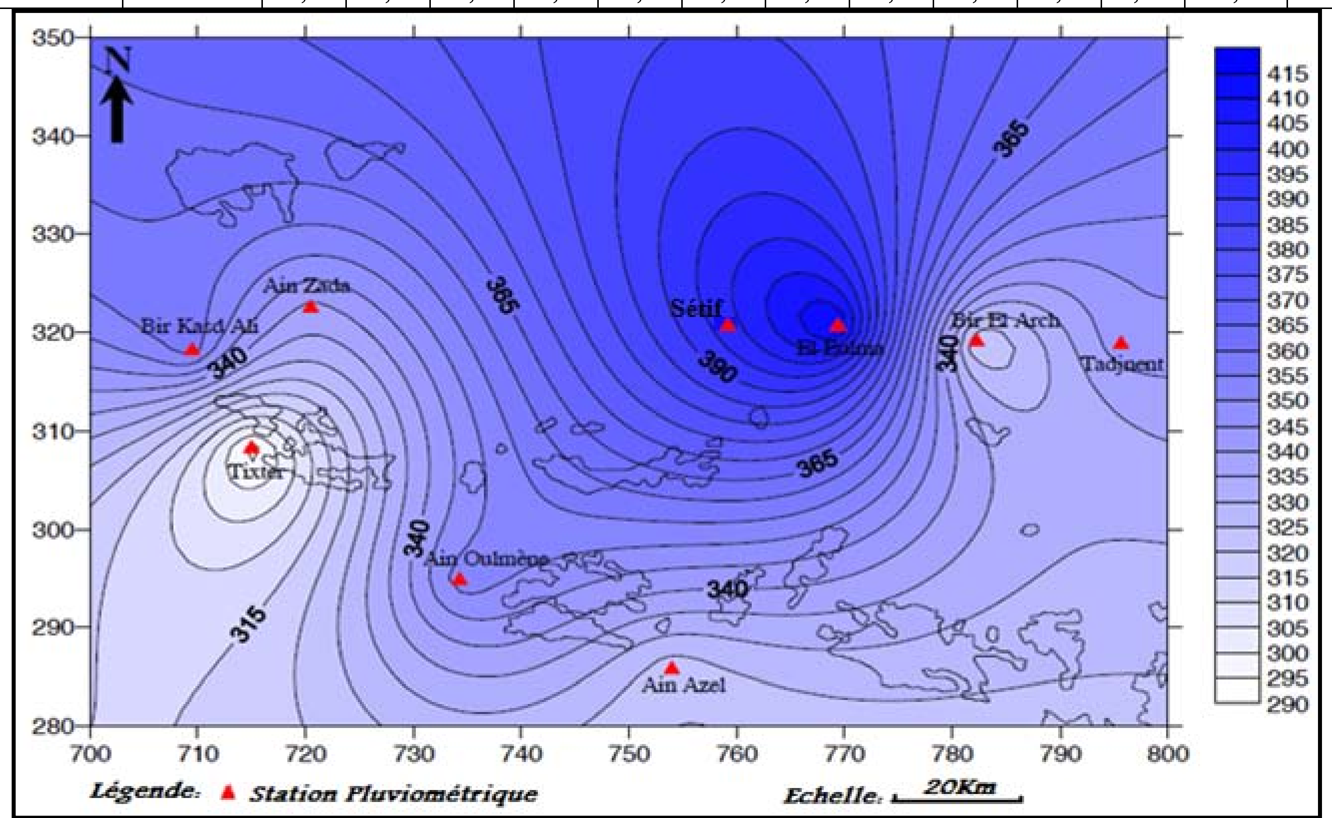


Figure 23 : Précipitations moyennes interannuelles des stations pluviométriques de sous bassin Versant amont de Boussellam (série récente)

A l'échelle mensuelle, on remarque que les mois les moins pluvieux sont ceux de Juin, Juillet et Août avec un minimum de 1.05 mm enregistré au mois de Juillet à la station de Oued El Ma et un maximum de 30 mm enregistré au mois de Juin à la station de Bir Chouhada. Par contre, les mois les plus pluvieux sont ceux de Décembre, Janvier et Février avec un minimum de 16 mm enregistré au mois de Février à la station de Tixter et un maximum de 88 mm enregistré au mois de Décembre à la station de Ain Roua (tableau.11)

A l'échelle spatiale, on constate que les régions montagneuses de l'extrême Nord de la région, reçoivent les plus fortes précipitations, avec un maximum de 710 mm enregistré à la station de Ain Roua par contre la partie centrale, reçoit moins de 350 mm avec un minimum de 298 mm enregistré à la station de Tixter dans la zone Sud.

Figure.24 : Variations des précipitations moyennes mensuelles interannuelles (séries anciennes)

Figure.25 : Variations des précipitations moyennes mensuelles interannuelles (séries récentes)

Vu le manque des données, et la discontinuité des mesures au niveau des stations pluviométriques et hydrométriques, nous avons fait une sélection des séries qui tient compte de la qualité des données d'une part, et de la période de fonctionnement du barrage et la répartition des stations dans le bassin versant d'autre part, qui sont les stations suivantes : Sétif, Ain zada, El-Eulma et Tixter (Figure.26).

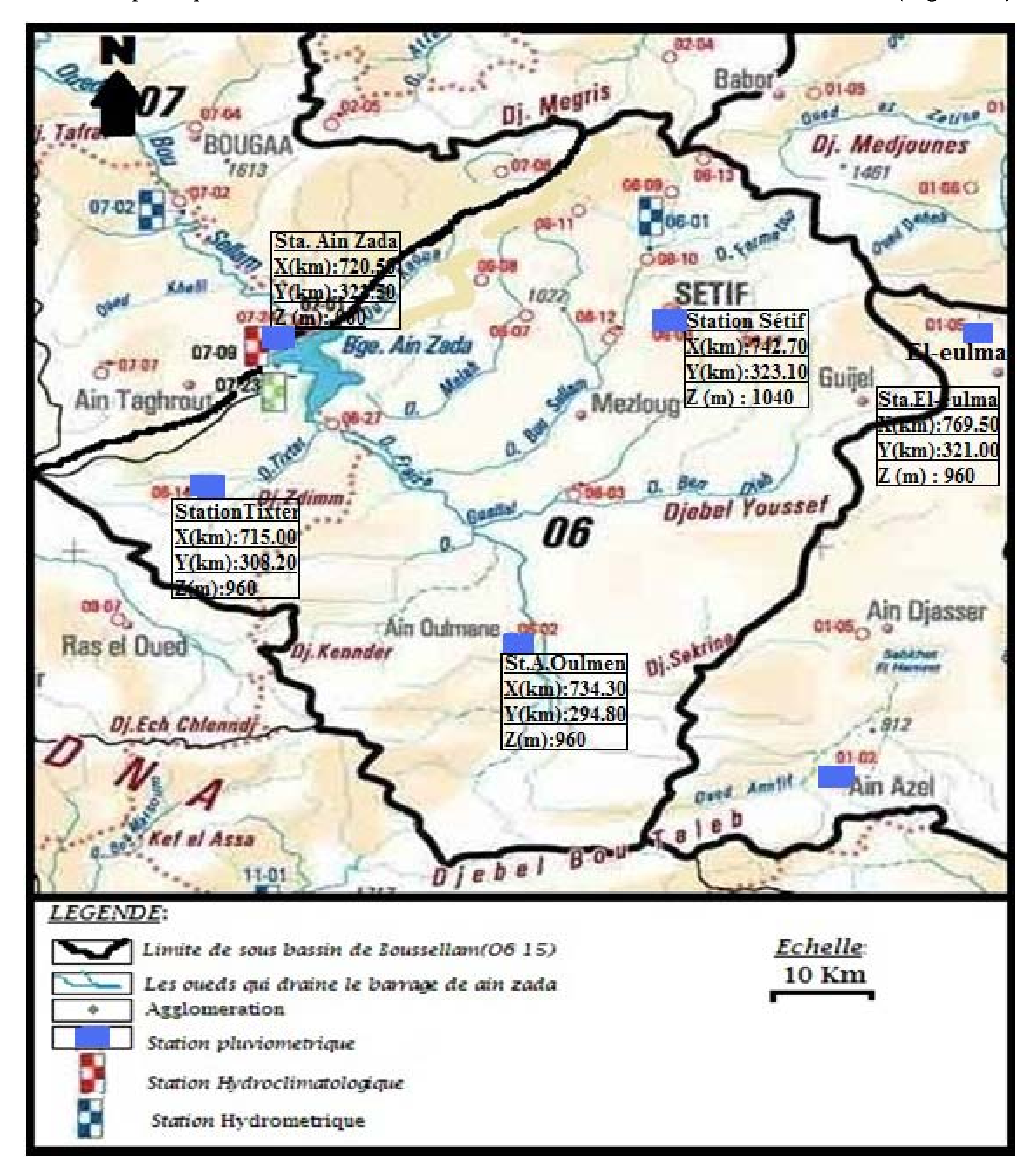


Figure.26: Carte géographique montre la répartition des stations pluviométriques étudiées dans Le sous-bassin versant de Boussellam amont (06 15) (D'après l'ANRH).

1.1.1. Calcul du coefficient pluviométrique :

Le calcul du coefficient pluviométrique permet de déterminer si l'année est déficitaire ou excédentaire, il est défini par le rapport de la pluviométrie d'une année (Hi) et la pluviométrie moyenne (h) pour une période de h années.

$$H = Hi/h$$

Tableau n°12 : précipitations interannuelles de la station Sétif, Tixter (81/10) et Ain zada (85/10)

Station	Sétif			Tixter			Ain zada		
Année	**P (mm)**	**Coeff. Pluviomé**	**Type de l'année**	**P (mm)**	**Coeff. Pluvio-mé**	**Type de l'année**	**P (mm)**	**Coeff. Pluviomé**	**Type de l'année**
80/81	303,70	075	*An.Déff*	290	1.21	*An.Exe*	//	//	//
81/82	563,20	1.40	*An.Exe*	229,4	0.96	*An.Déff*			
82/83	200,10	0.49	*An.Déff*	129,4	0.54	*An.Déff*			
83/84	523,10	1.30	*An.Exe*	173.8	0.73	*An.Déff*			
84/85	410,80	1.02	*An.Exe*	183.2	0.76	*An.Déff*			
85/86	432,30	1.07	*An.Exe*	350	1.47	*An.Exe*	477,40	1.32	*An.Exe*
86/87	320	0.79	*An.Déff*	216	0.90	*An.Déff*	237,90	0.66	*An.Déff*
87/88	424,60	1.05	*An.Exe*	313,8	1.31	*An.Exe*	382,30	1.06	*An.Exe*
88/89	403	1.003	*An.Exe*	322,9	1.35	*An.Exe*	297,70	0.82	*An.Déff*
89/90	397,80	0.99	*An.Déff*	279,9	1.17	*An.Exe*	391,10	1.08	*An.Exe*
90/91	401,20	0.99	*An.Déff*	539,5	2.26	*An.Exe*	363,70	1.01	*An.Exe*
91/92	505,20	1.25	*An.Exe*	255	1.07	*An.Exe*	281,30	0.78	*An.Déff*
92/93	319,90	0.79	*An.Déff*	137,9	0.57	*An.Déff*	202,90	0.56	*An.Déff*
93/94	272,60	0.67	*An.Déff*	420,6	1.76	*An.Exe*	394,90	1.09	*An.Exe*
94/95	422,40	1.05	*An.Exe*	296,8	1.24	*An.Exe*	396,70	1.10	*An.Exe*
95/96	442,90	1.10	*An.Exe*	130,8	0.54	*An.Déff*	204,70	0.56	*An.Déff*
96/97	402,40	1.001	*An.Exe*	242	1.01	*An.Exe*	328,40	0.91	*An.Déff*
97/98	465,30	1.15	*An.Exe*	178,5	0.75	*An.Déff*	299,90	0.83	*An.Déff*
98/99	384,50	0.95	*An.Déff*	164,5	0.69	*An.Déff*	249,10	0.69	*An.Déff*
99/00	331,20	0.82	*An.Déff*	79	0.33	*An.Déff*	247,80	0.68	*An.Déff*
00/01	251,30	0.62	*An.Déff*	77,5	0.32	*An.Déff*	267,50	0.74	*An.Déff*
01/02	370,70	0.92	*An.Déff*	196,5	0.82	*An.Déff*	633,20	1.76	*An.Exe*
02/03	584,90	1.45	*An.Exe*	124	0.52	*An.Déff*	513,40	1.42	*An.Exe*
03/04	494,10	1.23	*An.Exe*	112,5	0.47	*An.Déff*	374,70	1.04	*An.Exe*
04/05	373,80	0.93	*An.Déff*	186	0.78	*An.Déff*	373,60	1.03	*An.Exe*
05/06	394,50	0.98	*An.Déff*	253,5	1.06	*An.Exe*	390,10	1.08	*An.Exe*
06/07	419,70	1.04	*An.Exe*	406,8	1.70	*An.Exe*	425,50	1.18	*An.Exe*
07/08	421,20	1.04	*An.Exe*	453	1.90	*An.Exe*	437,20	1.21	*An.Exe*
08/09	403	1.003	*An.Exe*	249,1	1.04	*An.Exe*	413,70	1.15	*An.Exe*
09/10	407,30	1.01	*An.Exe*	//	//	//	404,80	1.12	*An.Exe*

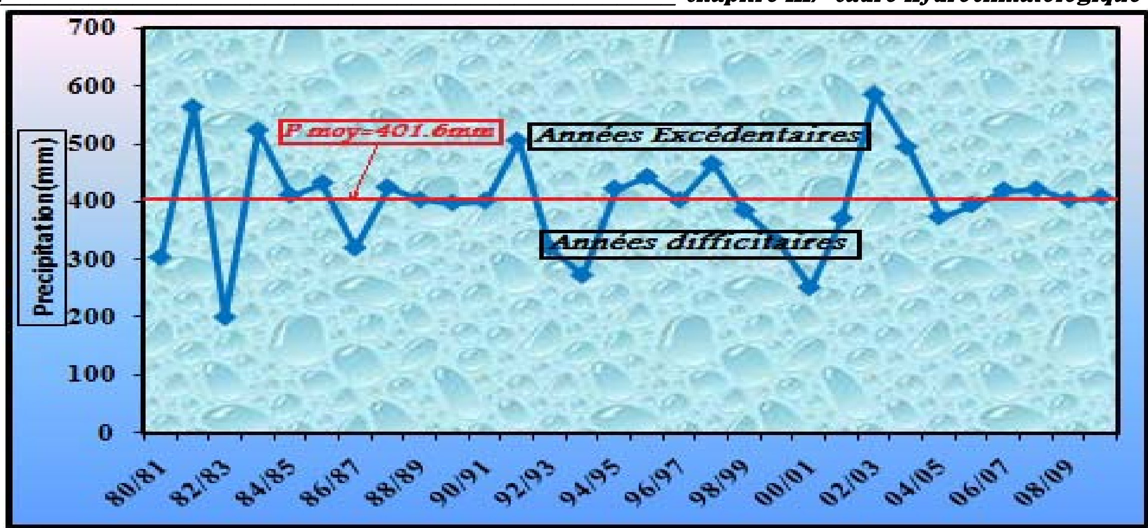


Figure 27 : Evolution pluriannuelle des précipitations a la station de Sétif (1981/2010)

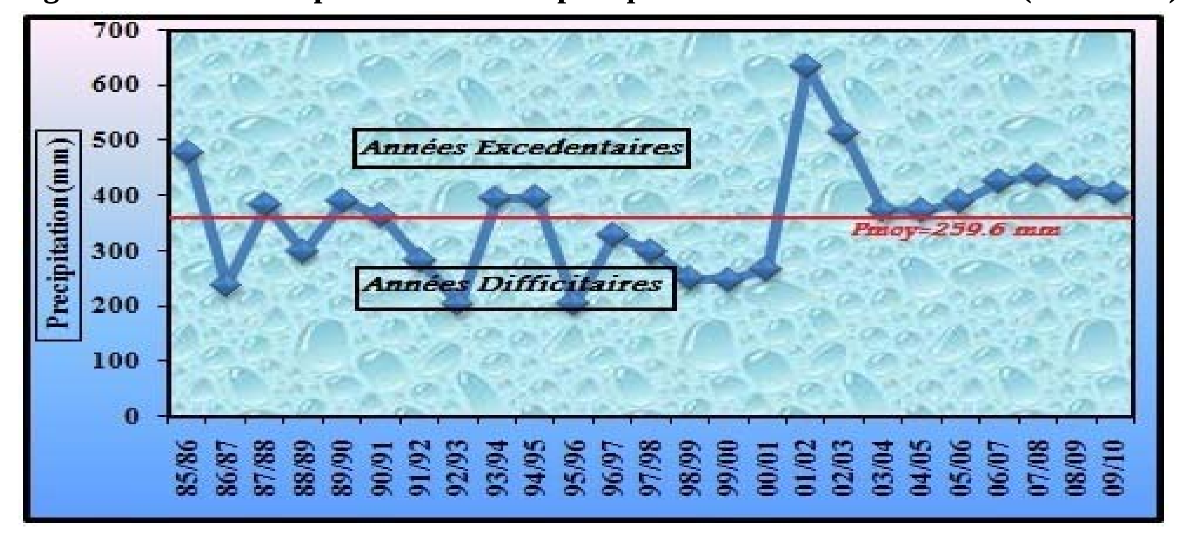


Figure 28 : Evolution pluriannuelle des précipitations a la station de Tixter (1981/2009)

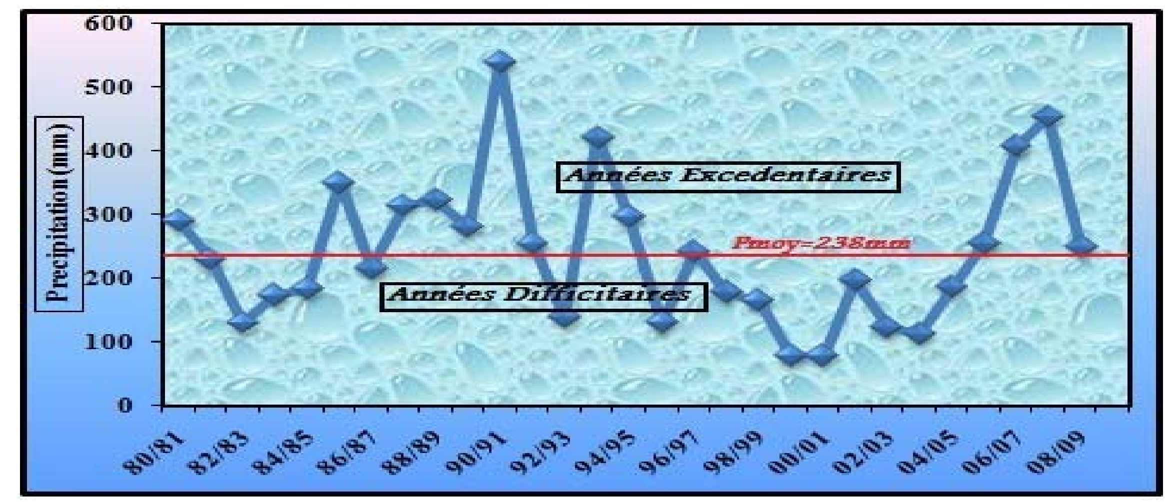


Figure 29 : Evolution pluriannuelle des précipitations a la station de Ain zada (1985/2010)

D'après les résultats trouvés (Tableau:12) on remarque qu'il y'a des années déficitaires et autres excédentaires durant cette série de plus de vingtaine d'années d'observations ,L'année hydrologique la plus arrosée pour les trois stations c'est (1990/1991) et (2002/2003) avec 584 mm/an à la station de Sétif et 513,1mm/an a la station de Ain zada , et les années les plus sèches pour les trois stations c'est (2000/2001) avec 77.5 mm/an a la station de Tixter 250 mm/an a Sétif et 267mm a la station Ain zada, (Figures 27-28 et 29).

1.2. Les températures :

L'étude des températures est d'un grand intérêt, car elle permet de quantifier l'évaporation et par conséquent les conditions d'alimentation du barrage de Ain zada par les eaux de surface des oueds et même l'alimentation des aquifères profonds et les concentrations des sels dissous dans leurs eaux et de préciser les limites de la thermalité.

Dans le présent paragraphe nous examinerons d'une manière générale les températures qui ont été enregistrées pendant la période récente, ces températures concernent celles des stations de Ain Zada du barrage, El Eulma, Sétif et Tixter.

Tableau.13:Températures moyennes mensuelles interannuelles des stations de Sétif,Ain zada (en°C)

Station	Température	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	moyenne
Sétif	***T moy. Max***	27	21,30	14,80	10,50	9,60	11,20	14,30	17,40	23	29,40	33,50	32,80	**20,40**
	T moy. Min	15,40	11,40	6,30	2,80	1,60	2,20	4,40	6,80	11,20	16,10	19,60	19,50	**9,80**
	T moy	20,60	15,80	10	6,20	5,20	6,20	8,90	11,70	16,80	22,40	26,30	25,60	**14,60**
Ain zada	***T moy. Max***	28,90	22,45	17,05	12,20	12,34	13,31	15,66	18,35	24,82	30,10	33,61	32,94	**21,81**
	T moy. Min	15,34	10,00	6,03	2,53	1,85	1,86	3,82	5,78	10,60	15,11	18,20	18,11	**9,10**
	T moy	22,12	16,22	11,54	7,37	7,09	7,58	9,74	12,04	17,71	22,60	25,90	25,52	**15,45**
El Eulma	***T moy. Max***	25,82	20,44	14,75	11,18	10,64	11,55	15,72	16,85	22,30	28,01	30,51	29,76	**19,79**
	T moy. Min	16,01	11,42	5,97	2,64	1,86	4,01	4,94	8,07	13,50	17,99	20,95	19,90	**10,60**
	T moy	20,91	15,93	10,36	6,91	6,25	7,78	10,33	12,46	17,90	23,00	25,73	24,83	**15,19**
Tixter	***T moy. Max***	29,13	22,64	15,50	11,47	10,38	11,99	14,73	18,47	23,13	30,55	34,90	34,14	**21,14**
	T moy. Min	15,08	10,40	5,03	2,58	1,67	2,24	3,90	6,41	9,65	15,37	18,83	18,66	**9,15**
	T moy	22,10	16,52	10,61	7,02	6,02	7,11	9,31	12,44	16,39	22,86	26,84	26,40	**15,30**

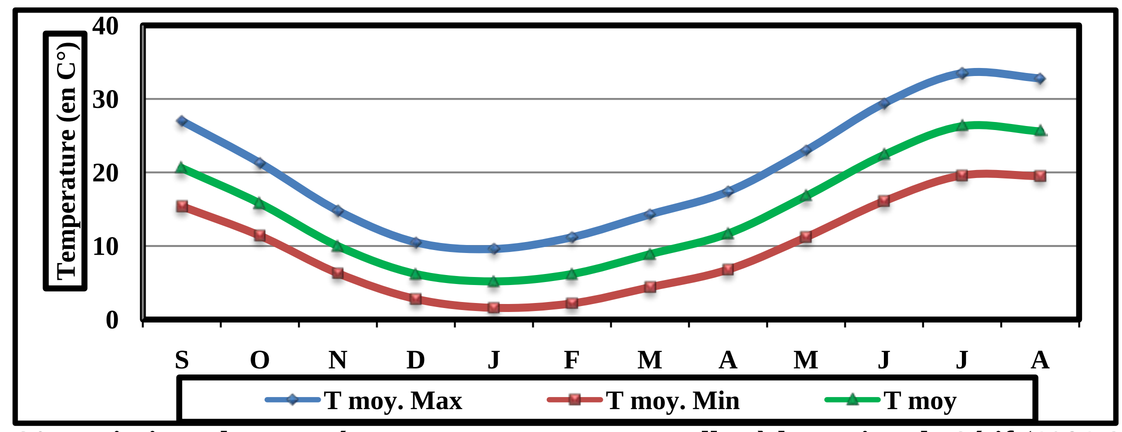


Figure 30:Variations des températures moyennes mensuelles à la station de Sétif (1981-2010)

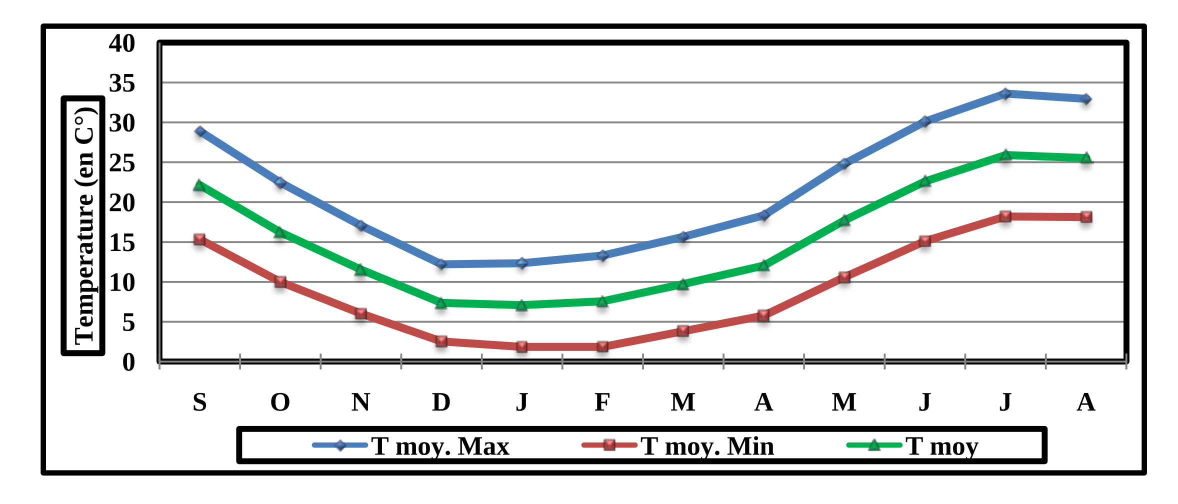


Figure 31:Variations des températures moyennes mensuelles à la station de Ain Zada (86-2010)

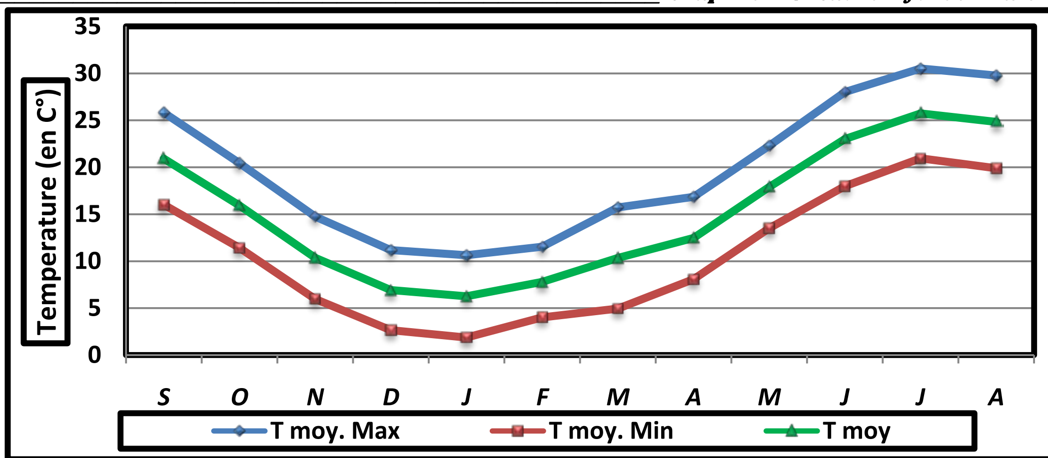


Figure 32:Variations des températures moyennes mensuelles à la station de El Eulma (1971-2009)

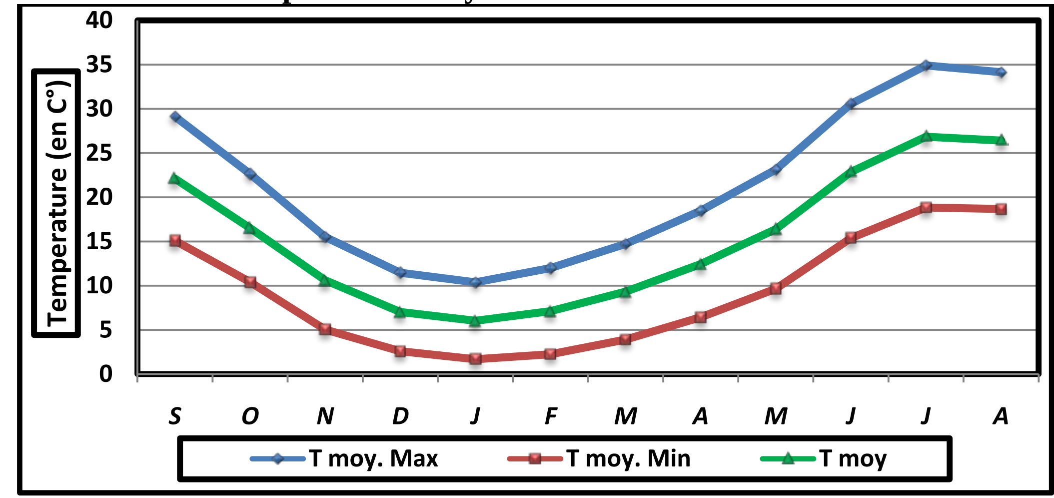


Figure 33 : Variations des températures moyennes mensuelles à la station de Tixter (1981-2009)

L'examen de ces données montre que les températures moyennes interannuelles diffèrent légèrement d'une station à l'autre, celles-ci diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre de la zone d'étude. Les mois les plus froids sont : Novembre, Décembre, Janvier, Février Mars et Avril, durant ces mois on enregistre les températures les plus basses, quand à celles du reste des mois, elles sont plus élevées. La température moyenne minimale est enregistrée au mois de Janvier à la station de Sétif avec 1.60°C et la température moyenne maximale est enregistrée au mois de Juillet à la station de Tixter avec une valeur de 34.90°C.

Vue le manque de l'enregistrement de plusieurs paramètres météorologiques au niveau de nos stations d'études sauf la station de Sétif (O.N.M) qui est située presque au centre du bassin versant et a proximité de la cuvette du barrage de Ain zada a de 10 km vole d'oiseau, qui nous donne une très bonne idée sur toute les caractéristiques météorologiques du sous-bassin versant de Boussellam amant.

1.3. L'humidité :

Le degré hygrométrique de l'air (ou humidité relative) c'est le rapport de la tension de vapeur effective à la tension de vapeur saturante dans les mêmes conditions de température et de pression.

On remarque que dans la région d'étude l'humidité est plus élevée en hiver qu'en été, le taux d'humidité moyen au cours de l'année est de 63%.

Tableau.14 : Humidité moyenne mensuelle en% (station de Sétif, 1981-2010 d'après O.N.M)

Station de Sétif	Période	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne
Humidité en%	**1981-2010**	58	66	75	80	78	74	69	66	60	48	40	43	**63%**

1.4. Le vent :

Le vent est un facteur important du climat, il influe sur la température, l'humidité et l'évaporation. La direction, la fréquence et la vitesse des vents sont variables au cours de l'année.

En générale, la connaissance de la vitesse et de la direction des vents est primordiale pour la mise en place d'un ouvrage quelconque. Les vents dominants dans la région sont ceux du SW-NE, Nord-Sud et même en été Sud-Nord, avec une vitesse assez constante au cours de l'année, entre 2.3 et 3.3 m/s et d'une moyenne de 2.8 m/s, avec un maximum au printemps et un minimum en automne.

Tableau.15:Vitesse moyenne mensuelle du vent en m/s(station de Sétif 1981-2010 d'après O.N.M)

Station de Sétif	Période	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne
V.du Vent en m/s	**1981-2010**	2,5	2,3	2,7	2,8	2,7	2,9	2,9	3,3	3,0	2,8	2,8	2,8	**2,8 m/s**

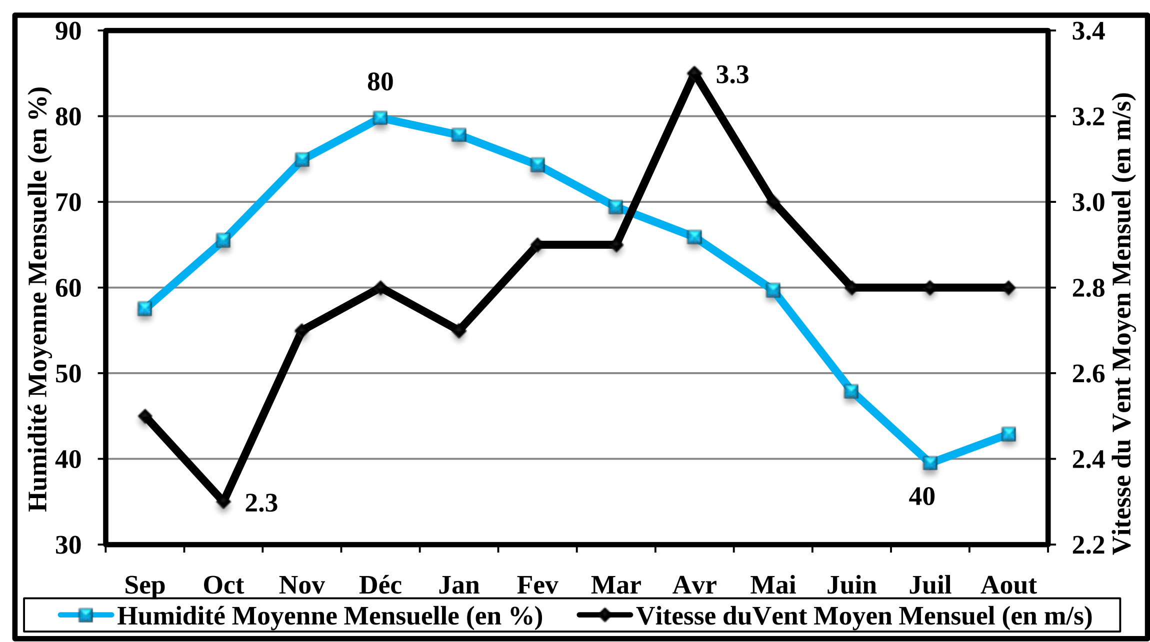


Figure. 34: Variation de l'humidité relative et de la vitesse des vents station de Sétif (1981/2010) (D'après O.N.M de Sétif)

1.5. Phénomènes secondaires :

1.5.1. La grêle :

Le grêle est observé dans la région d'étude du mois de Novembre au mois de Mai, mais moins fréquent que le littoral, Le plus grand nombre de jours de grêle est marqué, au mois de février, Mars et avril. Le maximum étant observé en avril et nul du mois de Juin au mois d'Octobre de toute la série d'années. Ces observations sont la moyenne de 29 ans. Le nombre moyen de jours de grêle est représenté au tableau suivant.

Tableau.16:Moyennes mensuelles de 29 ans d'observation de grêle (station de Sétif 1981-2010)

Station de Sétif	Période	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne	Totale
Grêle N.de jrs	**1981-2010**	0	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	0	0	0	**0,1jour**	**1,1 jour**

1.5.2. La gelée :

La gelée est surtout fréquent sur les régions des haut plateaux et a l'intérieur du pays, elle est observée sur la région d'étude du mois d'Octobre au mois de Mai, Le plus grand nombre de jours de gelée étant observé en hiver et au mois de janvier de 14.8 jours et nul du mois de juin au mois de septembre de toute la série d'années, elle a une durée moyenne de 55 jours pendant toute l'année. Tableau n.17.

Tableau.17: Moyennes mensuelles de 29 ans d'observation de Gelée (station de Sétif 1981-2010).

Station de Sétif	Période	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne	Totale
Gelée N.de jrs	**1981/2010**	0	0,2	4,1	11,8	14,8	12,1	7,9	3,7	0,5	0	0	0	**4,6 jours**	**55,1 jours**

1.5.3. Le sirocco :

Il est moins fréquent qu'au sud du pays, il est observé à partir du mois de Mars au mois d'Octobre cependant, il peut se manifester sur toute la région surtout en été et même en printemps. Il constitue un des facteurs qui influent sur la diminution des récoltes. Ces vents sont généralement chauds et ils font baisser le degré hygrométrique (humidité relative) et le climat devient sec.

On trouve sur le tableau N°18 le nombre total et moyen de jours de sirocco, ces résultats sont la moyenne de 29 ans.

Tableau.18:Moyennes mensuelles de 29 ans d'observation de Sirocco (station de Sétif, 1981-2010).

Station de Sétif	Période	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne	Totale
Sirocco N.de jrs	**1981-2010**	0,4	0,5	0	0	0	0	0,1	0,6	1,0	1,4	1,0	0,8	**0,5 jours**	**5,8 jours**

1.5.4. Le brouillard :

Le brouillard dans la région d'étude est moins fréquent que sur le littoral où il est observé durant toute l'année, le brouillard est dû à la présence des gouttelettes d'eaux dans l'atmosphère qui diminuent la visibilité horizontale à moins de 1 km.

Il est observé à partir du mois de Septembre au mois de Juin, Le plus grand nombre de jours de brouillard étant observé en hiver, et nul en été de toute la série d'années, elle a une duré moyenne de 10 jours pendant toute l'année. Tableau n.19.

Tableau.19:Moyennes mensuelles de 29 ans d'observation de Brouillard(station de Sétif 1981-2010).

Station de Sétif	Période	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne	Totale
Brouillard N. jrs	**1981-2010**	0,1	0,8	1,6	2,5	2,1	1,7	0,7	0,5	0,4	0,1	0	0	**0,9 jours**	**10,5 jours**

2. Relation température-précipitation :

2.1. Diagramme Ombro-thermique :

Les températures sont reportées à l'échelle double des précipitations selon la définition de Gaussen (1958). Une période sèche est une période humide pendant laquelle les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la température **($P \leq 2T$).**

Cette relation permet d'établir un diagramme Ombro-thermique représenté dans les figures : (35, 36, 37, et 38).

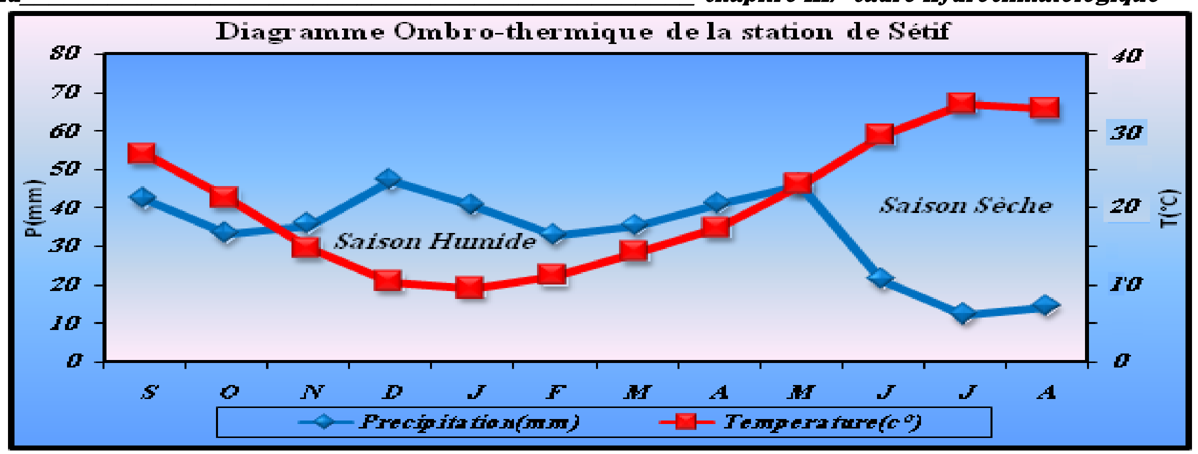


Figure 35 : Diagramme Ombro-thermique de la station de Sétif (80/81-09/10)

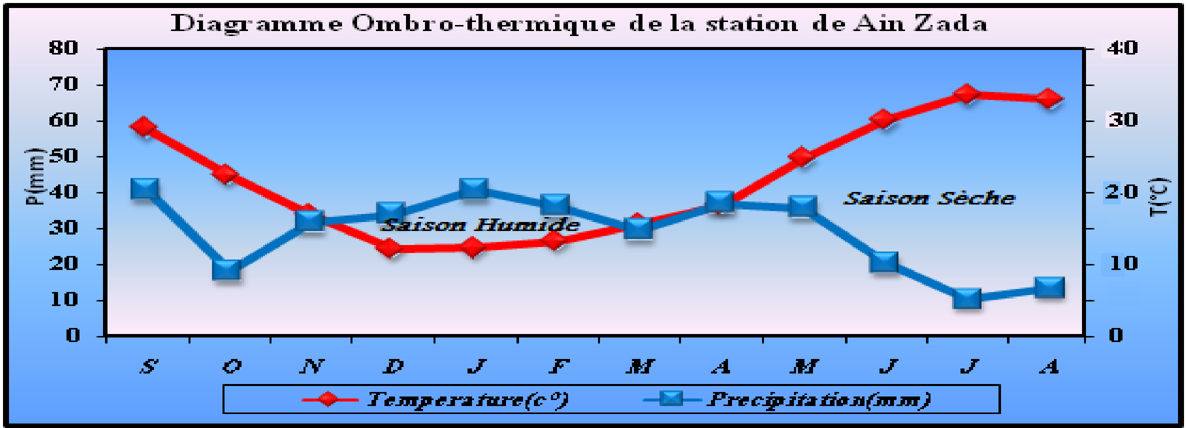


Figure 36 : Diagramme ombro-thermique de la station de Ain Zada (85/86 a 09/10)

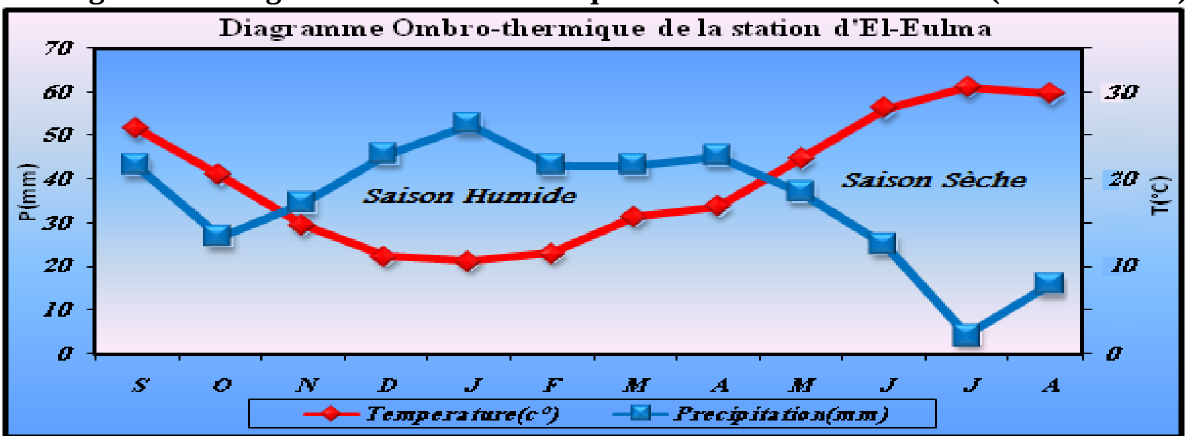


Figure 37 : Diagramme ombro-thermique de la station de El Eulma (71/72-06/07)

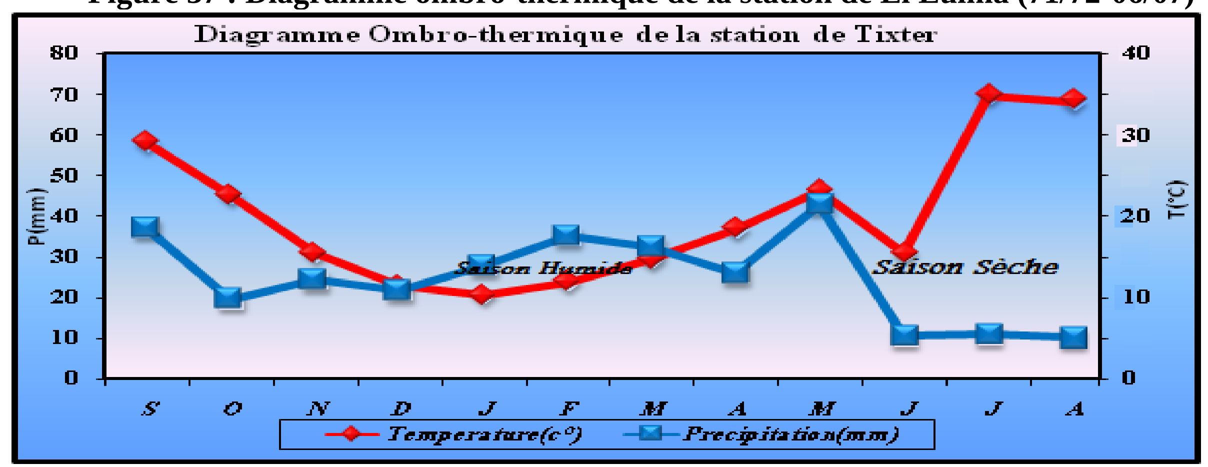


Figure 38 : Diagramme ombro-thermique de la station de Tixter (80/81-09/10)

La période sèche s'étale sur une période de huit mois pour la station de Ain Zada, de Avril jusqu'à Novembre (figure.36), et neuf mois pour la station de Tixter, de Mars jusqu'à Décembre (figure 38), alors que dans les stations d'El Eulma et de Sétif, elle s'étale sur une période de sept mois, de Mai jusqu'à Novembre (figure 35 et 37).

2.2. Méthode d'Euverte (humidité du sol) :

Le rapport P/T établi mensuellement permet de connaître l'évolution de l'humidité du sol, Ainsi quatre régimes sont définis:

- Très sec (TS) où **P/T< 1**
- Sec (S) où **1<P/T< 2**
- Sub-humide (SH) où **2< P/T< 3**
- Humide (H) où **P/T > 3**

Tableau 20: Evaluation de l'humidité du sol à Sétif (1981-2010)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P(mm)	42,10	33,20	35,50	47,10	40,60	32,80	35,30	41	45,80	21,40	12,30	14,50
T (C°)	15,40	11,40	6,30	2,80	1,60	2,20	4,40	6,80	11,20	16,10	19,60	19,50
P/T	2.73	2.91	5.63	16.82	25.37	14.9	8.02	6.02	4.08	1.32	0.62	0.78

Tableau 21: Evaluation de l'humidité du sol à Ain Zada (1989-2009)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P(mm)	43,76	22,00	33,42	43,62	34,88	25,95	31,19	41,04	37,99	19,89	12,78	13,07
T (C°)	15,34	10,00	6,03	2,53	1,85	1,86	3,82	5,78	10,60	15,11	18,20	18,11
P/T	2,85	2,2	5,54	17,24	18,85	13,95	8,16	7,10	3,58	1,31	0,70	0,72

Tableau 22 : Evaluation de l'humidité du sol à El Eulma (1971-2009)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P(mm)	43,06	26,73	34,33	45,62	52,57	43,02	43,17	45,29	37,05	25,12	4,33	15,91
T (C°)	16,01	11,42	5,97	2,64	1,86	4,01	4,94	8,07	13,50	17,99	20,95	19,90
P/T	2.68	2.34	5.75	17.28	28.26	10.72	8.73	5.61	2.74	1.39	0.20	0.79

Tableau 23 : Evaluation de l'humidité du sol à Tixter (1989-2009)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P(mm)	26,85	21,15	21,95	23,79	20,80	16,24	23,81	25,98	30,50	9,44	6,33	10,22
T (C°)	15,08	10,40	5,03	2,58	1,67	2,24	3,90	6,41	9,65	15,37	18,83	18,66
P/T	1,78	2,03	4,36	9,22	12,45	7,25	6,10	4,05	3,16	0,61	0,33	0,54

Tableau 24 : Evaluation de l'humidité et calcul du rapport P/T du tous les stations

Station ↓ Mois →	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P/T Sétif	2,73	2,91	5,63	16,82	25,37	14,9	8,02	6,02	4,08	1,32	0,62	0,78
P/T Ain zada	2,85	2,2	5,54	17,24	18,85	13,95	8,16	7,10	3,58	1,31	0,70	0,72
P/T El Eulma	2,68	2,34	5,75	17,28	28,26	10,72	8,73	5,61	2,74	1,39	0,2	0,79
P/T Tixter	1,78	2,03	4,36	9,22	12,45	7,25	6,10	4,05	3,16	0,61	0,33	0,54

D'après les quatre tableaux et la Figure 39, on remarque que la période très sèche du sol est presque identique dans les quatre stations c'est la saison d'été (Juillet et Août), sauf la station de Tixter (Juin, Juillet et Août) et la période sèche du sol observé au Juin pour les stations de Ain Zada, El Eulma, et Sétif et au mois d'Octobre exceptionnellement pour les stations de Tixter et Ain zada, par contre la période humide et sub-humide occupe tout le reste de l'année où P/T > 3, elle est déterminée par la méthode de G.Euverte.

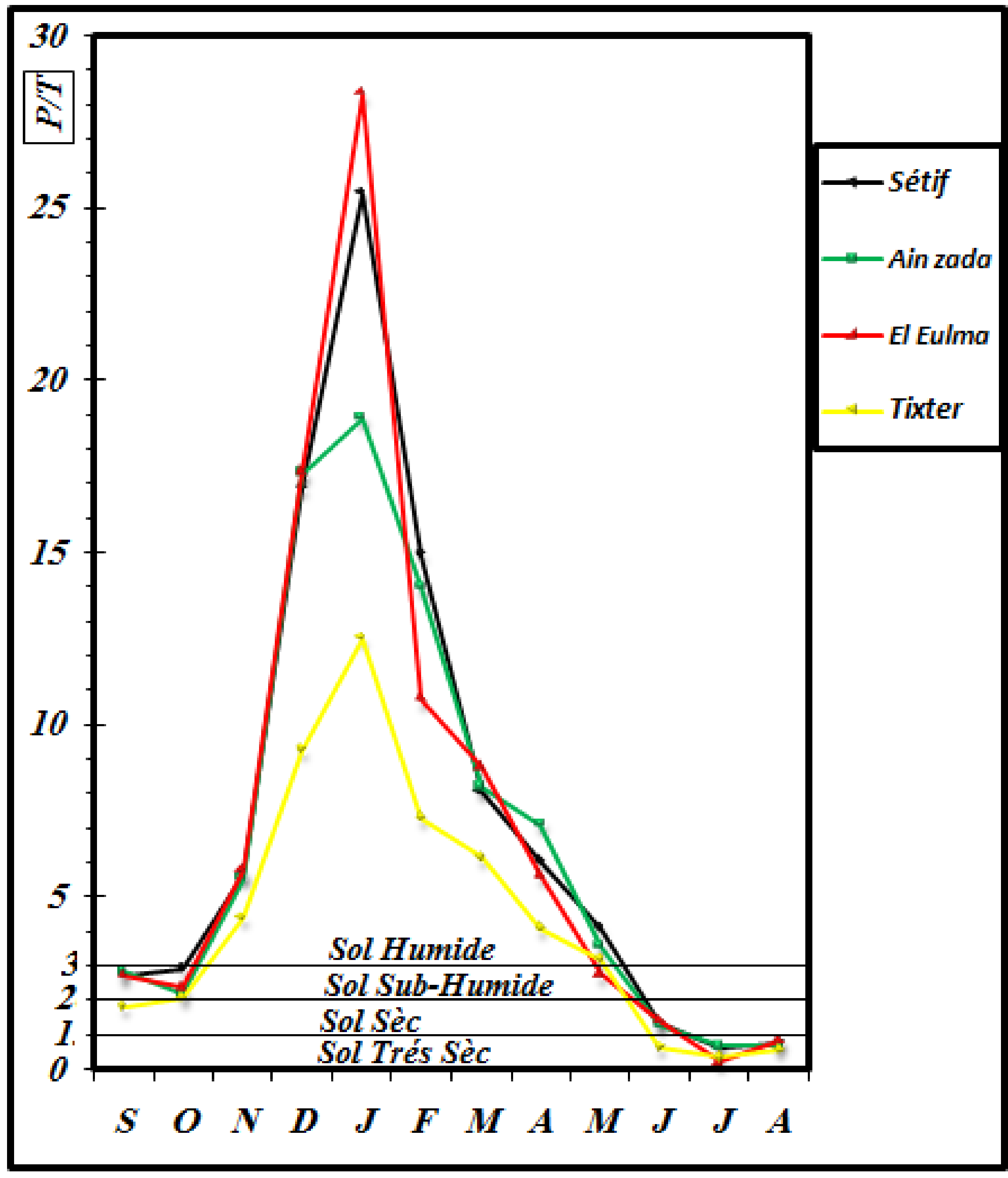


Figure.N° 39 : Indice d'Euverte

3. Les indices climatiques :

Dans le présent paragraphe nous essayerons d'évaluer les indices climatiques et de classer la zone d'étude selon ces indices.

Il existe beaucoup de méthodes et de formules qui permettent d'évaluer les indices climatiques, nous citons celle de De Martonne, d'Emberger, de Moral, de Stewart et celle d'Euverte.

Pour notre cas nous nous contenterons de calculer l'indice d'aridité annuel de De Martonne et l'indice pluviométrique annuel de Moral et cela en se basant sur les températures mesurées dans les stations de Ain Zada, El Eulma, Sétif et Tixter.

3.1. Indice d'aridité de De Martonne :

Cet indice proposé par De Martonne en 1923 est fondé sur le régime des précipitations et sur les températures, il est calculé par la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Ou: ***I***: indice d'aridité annuelle de De Martonne.

P: précipitations moyennes annuelles (mm).

T: température moyenne annuelle (°C).

Selon Martonne:

- pour les valeurs de ***I*** inférieures à 5 on est en présence d'un régime hyper aride.
- pour des valeurs de ***I*** comprises entre 5 et 10 on est en présence d'un régime désertique.
- pour des valeurs de ***I*** comprises entre 10 et 20 on est en présence d'un régime semi aride, mais tout dépend de la répartition saisonnière des pluies.

Les différentes valeurs de l'indice d'aridité calculé selon la formule de De Martonne sont portées dans le tableau 25.

Tableau N° 25 : Indice d'aridité de De Martonne

Station	Période	P (mm)	T (°C)	I	Climat
Sétif	1981-2010	**401,60**	14,60	16,32	Semi aride
Ain zada	1986-2010	**359,58**	15,45	10,19	Semi aride
El Eulma	1971-2009	**416,20**	15,19	16,52	Semi aride
Tixter	1981-2009	**237,06**	15,30	10,06	Semi aride

La valeur la plus élevée est observée dans la station de El Eulma et celle de Sétif, et la valeur minimale est observée dans la station de Tixter, selon cet indice la zone d'étude est une zone ayant un climat semi aride.

Pour préciser les conditions de la semi-aridité estivale, les élèves de De Martonne avaient proposé l'utilisation d'un indice d'aridité mensuel et dont la relation est la suivante :

$$I = \frac{12P}{T + 10}$$

Ou:

P: précipitations du mois; multipliées par 12, pour rendre cet indice comparable à l'indice annuel (mm)

Un abaque donné par **De Martonne** permet de représenter les différentes stations (figure.n°40), l'ensemble des stations étudiées se trouve dans la zone à régime semi aride à écoulement temporaire

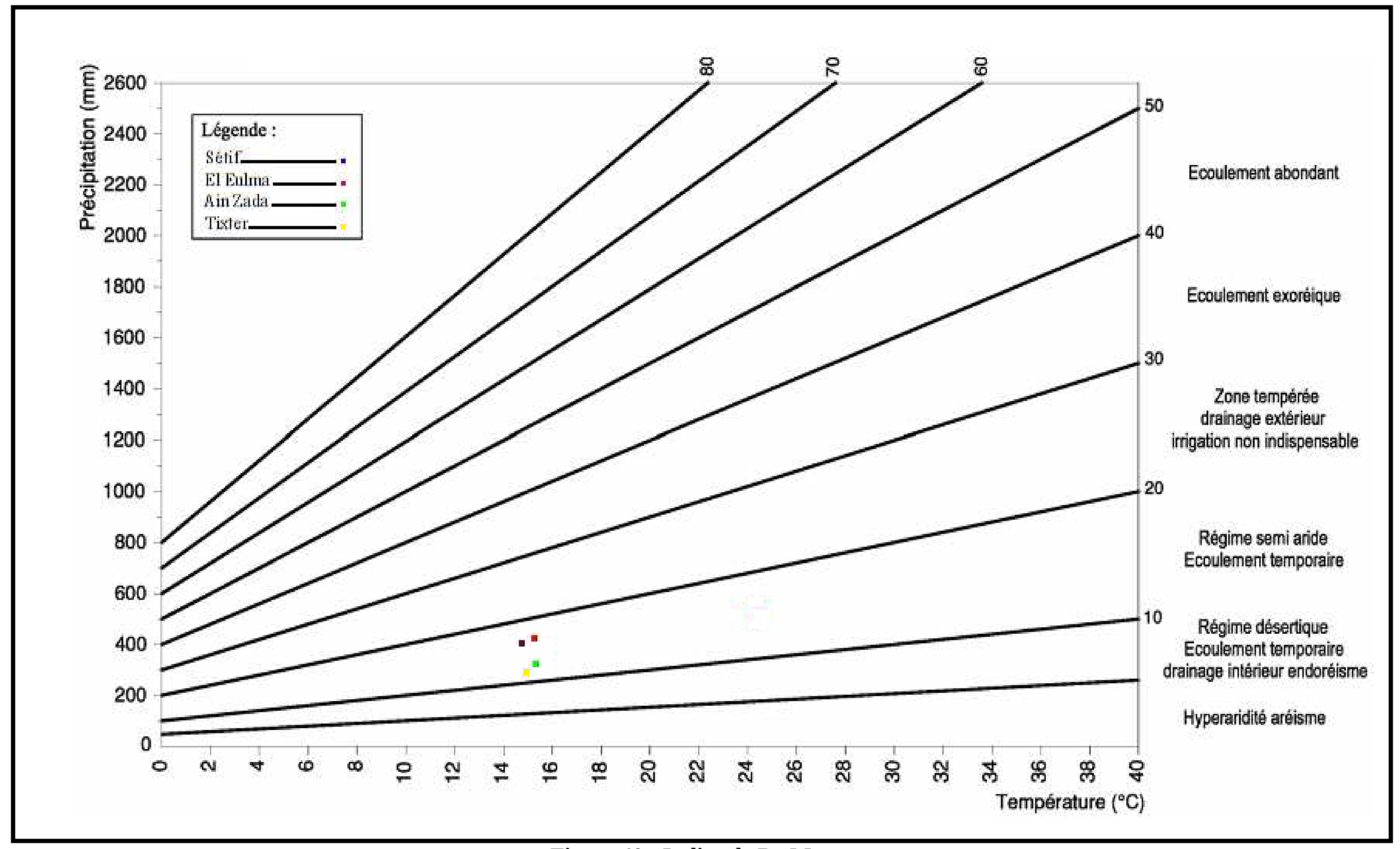


Figure 40 : Indice de De Martonne

3.2. Le quotient pluviométrique annuel de Moral :

Moral propose en 1964 d'utiliser la relation :

$$I_A = \frac{P}{T^2 - 10T + 200}$$

Ou: I_A: quotient pluviométrique de Moral.

P: précipitations moyennes annuelles (mm).

T: température moyennes annuelles (°C).

Cet indice pluviométrique utilise également la hauteur annuelle des précipitations (***P*** en mm) et les températures moyennes annuelles (***T*** en °C) pour délimiter l'humidité et la sécheresse.

Avec : I_A **= 1**, on est à la limite de la zone aride

I_A **< 1**, on est dans un climat sec

Les différentes valeurs de l'indice d'aridité calculé selon la relation de Moral sont portées dans le tableau 26.

Tableau 26 : Indices d'aridité de Moral

Station	Période	P (mm)	T (°C)	I_A
Sétif	1981-2010	**401,60**	14,60	1.50
Ain zada	1986-2010	**359,58**	15,45	1.26
El Eulma	1971-2009	**416,20**	15,19	1.49
Tixter	1981-2009	**237,06**	15,30	1

3.3 Climagramme de L.EMBERGER :

La méthode la plus efficace pour cerner la plus au moins grande humidité du bassin versant de Oued Boussellam est celle d'EMBERGER car il l'a adapté à l'analyse du climat.

EMBERGER a mis au point une formule pour le calcul du quotient pluviométrique basé sur la température et la pluviosité.

$$Q = 2000 \frac{P}{(M^2 - m^2)}$$

Avec : Q : quotient pluviométrique d'EMBERGER.

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

M : température moyenne maxima du mois le plus chaud.

m : température moyenne minima du mois le plus froid.

M et m sont exprimés en degré centigrade à partir du Zéro absolu (273°) tel que :**T°k = T°C + 273,15** pour éliminer les nombres négatifs.

Le climagramme d'EMBERGER, portant sur les valeurs du quotient Q en ordonnée et la température moyenne des minima de la saison froide (hiver) en abscisse permet de classer les stations au sein de cinq étages bioclimatiques (humides, sub-humides, semi-arides, arides et sahariens) divisées en quatre sous étages (hivers froids, frais, tempérés, et chauds)

Suite au calcul du quotient (Q) pour les stations de Sétif, Ain zada, El-Eulma et Tixter, on a abouti aux résultats consignés au tableau ci-dessous :

Tableau 27 : Climagramme de L.EMBERGER.

Station	P (mm)	M en (°k)	m en (°k)	Tmoy min°C	Tmoy max°C	Q^2
Sétif	**401,60**	306,65	274,75	33.50	1.60	43,30
Ain zada	**359,58**	306,75	275	33.60	1.85	37,58
El Eulma	**416,20**	303,66	275,01	30.51	1.86	50,20
Tixter	**237,06**	308,05	274,82	34.90	1.67	30,79

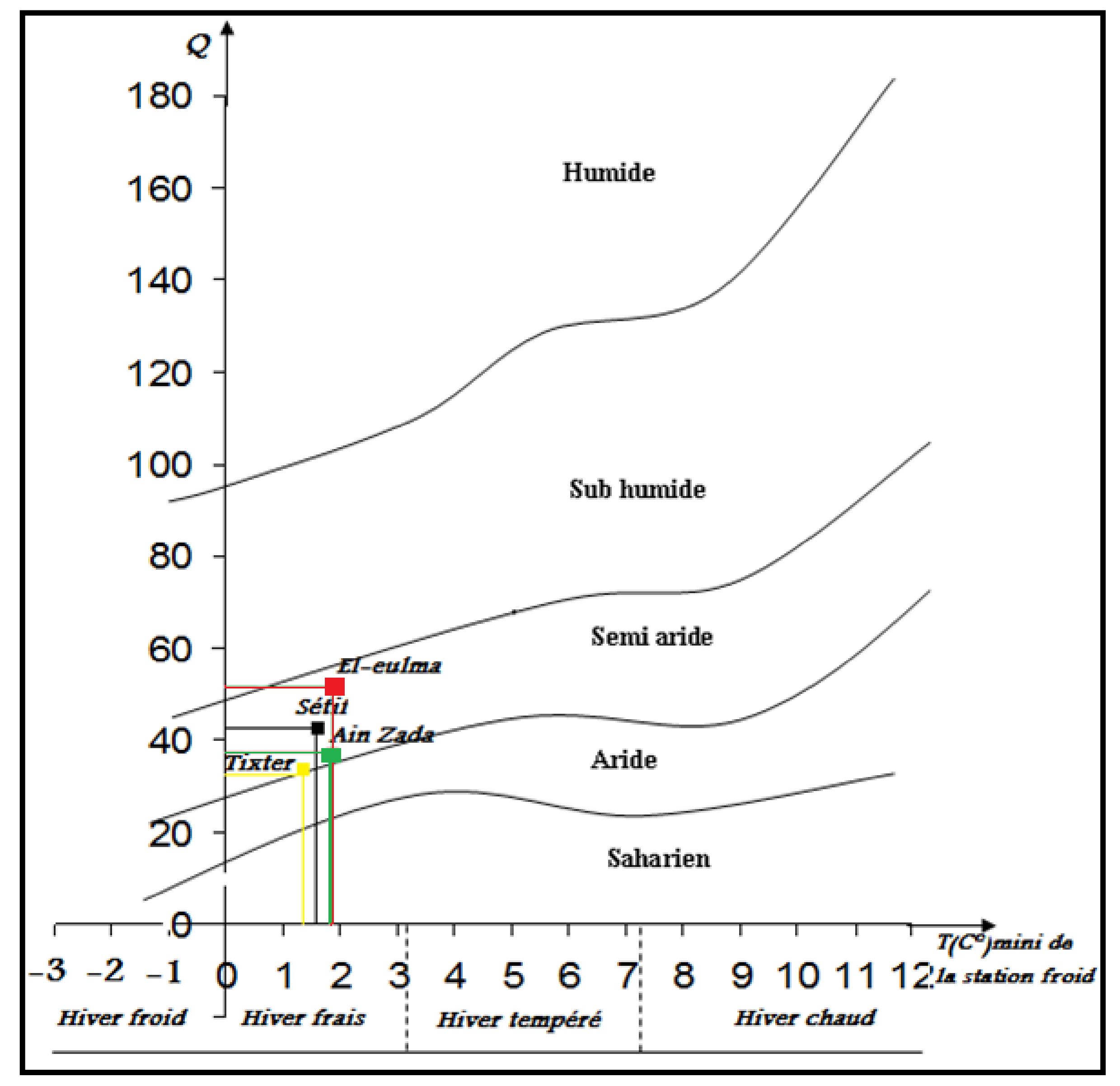


Figure. n°41: Climagramme de L.EMBERGER.

4. Estimation des paramètres du bilan hydrologique :

4.1. Evapotranspiration potentielle ETP :

4.1.1. Méthode de Thornthwaite :

Selon Roche (1963) :« L'**ETP** correspond à l'évaporation d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques ». Ce paramètre est calculé par plusieurs méthodes, la plus répandue est celle de C.W. Thornthwaite présentée, en 1948, et qui ne tient compte que de la température.

$$ETP = 16\left(10\frac{t}{I}\right)^{a}$$

Où : **ETP**: évapotranspiration potentielle (mm).

t : température moyenne mensuelle (°C).

I : indice thermique annuel.

$$I = \Sigma i$$ Où ***i*** : indice thermique mensuel. $$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

a: exposant climatique donné par L.Serra en 1954,

$$a = 0.016\, I + 0.5$$

Certains auteurs pensent que les valeurs de l'ETP calculées par la méthode de Thornthwaite sont ou bien sous estimées dans les régions arides et semi-arides, ou bien surestimées dans les régions tropicales humides et équatoriales, pour cette raison l'ETP est multipliée par un facteur de correction K donnée par les tables et qui est fonction du temps, du mois et de la latitude du lieu.

$$ETP_C = K \times ETP$$

Où: ***ETP***: évapotranspiration potentielle (mm).

ETP_C: évapotranspiration potentielle corrigée (mm).

K : facteur de correction.

4.2. Evapotranspiration réelle ETR :

Elle correspond à l'évapotranspiration qui se produit pendant un intervalle de temps donné, dans des conditions réelles des teneurs en eau du sol.

Ce paramètre est calculé par plusieurs méthodes empiriques prenant en compte les précipitations et les températures.

4.2.1. Méthode de Coutagne :

C'est une méthode qui fait intervenir les précipitations moyennes annuelles et les températures moyennes annuelles.

$$ETP = P - \lambda P$$

Où : ***ETR***: évapotranspiration réelle (mm).

P : précipitation moyenne annuelle (°C).

λ : facteur dépendant de la température moyenne annuelle.

$$\lambda = \frac{1}{(0.8 + 0.14T)}$$

Cette formule est applicable pour les précipitations comprises entre 1/8 λ et 1/2 λ, cette condition n'est pas vérifiée pour nos stations par conséquent elle ne peut pas être appliquée.

4.2.2. Méthode de Turc :

C'est la méthode la plus répandue, elle tient compte des précipitations et des températures moyennes annuelles.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Où : ***ETR***: évapotranspiration réelle (mm).

P : précipitation moyenne annuelle (°C).

L : le pouvoir évaporant de l'atmosphère.

Où: $L = 300 + 25T + 0.05T^3$

Où : ***L*** : le pouvoir évaporant de l'atmosphère.

T : température moyenne annuelle (°C).

Les différentes valeurs de l'ETR calculée selon la méthode de Turc sont portées dans le tableau 28.

Tableau 28 : Valeurs de l'ETR selon la méthode de Turc

Station	Période	P (mm)	T (°C)	L	ETR(mm)
Sétif	1981-2010	**401,60**	14,60	820,60	376,21
Ain zada	1986-2010	**359,58**	15,45	870,64	361,59
El Eulma	1971-2009	**416,20**	15,19	854,99	390,32
Tixter	1989-2009	**237,06**	15,30	861,57	239,99

4.2.3. Méthode de Verdeil :

Verdeil a établi en Algérie (1988) un abaque pour le calcul du déficit d'écoulement pour des précipitations comprises entre 0 et 600 mm. La valeur du déficit d'écoulement est obtenue directement sur l'abaque (figure. 42).

Cet abaque permet de calculer les différentes valeurs du déficit d'écoulement qui correspond en gros à l'ETR pour les différentes stations (tableau 29).

Tableau 29 : Valeurs de l'ETR selon la méthode de Verdeil

Station	Période	P (mm)	ETR(mm)
Sétif	1981-2010	**401,60**	381
Ain zada	1986-2010	**359,58**	340
El Eulma	1971-2009	**416,20**	395
Tixter	1989-2009	**237,06**	236

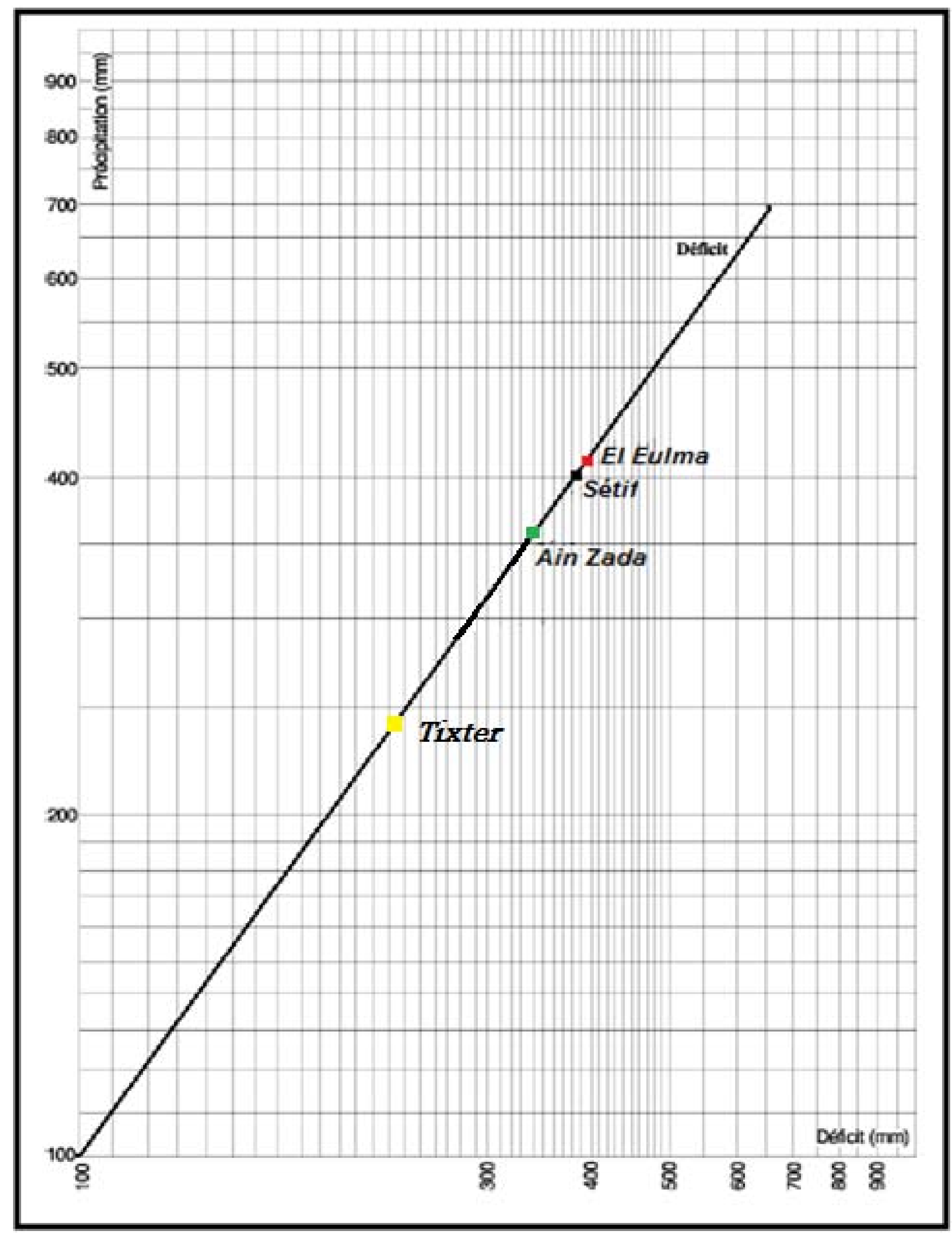


Figure 42 : Abaque de Verdeil

4.3. Bilans hydrologiques :

4.3.1. Bilan hydrologique de Thornthwaite :

Le bilan hydrologique établi mensuellement selon la méthode de C.W. Thornthwaite a l'avantage d'estimer pour chaque mois: l'évapotranspiration réelle **ETR**, la réserve facilement utilisable **RFU**, le déficit agricole **Da** et l'excédent **Ex**, la réserve facilement utilisable **RFU** est calculée par la formule de Hallaire (1960) donnée ci-dessous :

$$RFU = \frac{1}{3}(Da \times He \times Pr)$$

Où : ***RFU***: la réserve facilement utilisable (m)

Da : densité apparente du sol prise égale à 1,4

He : capacité de rétention prise égale à 0,3

Pr : profondeur des racines prise égale à 0,4 m

La ***RFU*** ainsi calculée pour la région est égale à 56 mm, alors on utilise RFU= 50mm. Les bilans hydrologiques, selon la méthode de Thornthwaite, pour chaque station sont portés dans les tableaux (30,31, 32 et 33).

- Le bilan hydrique exprime donc le processus que peut suivre une quantité d'eau arrivant au sol par précipitation, neige, … etc. Avant de retourner à l'atmosphère.

On a aussi d'autres paramètres très importants pour le calcul du bilan hydrique :

- ***CL*** : Coefficient de latitude.
- ***CH*** : Coefficient hydrique.
- ***IT*:** Indice thermique

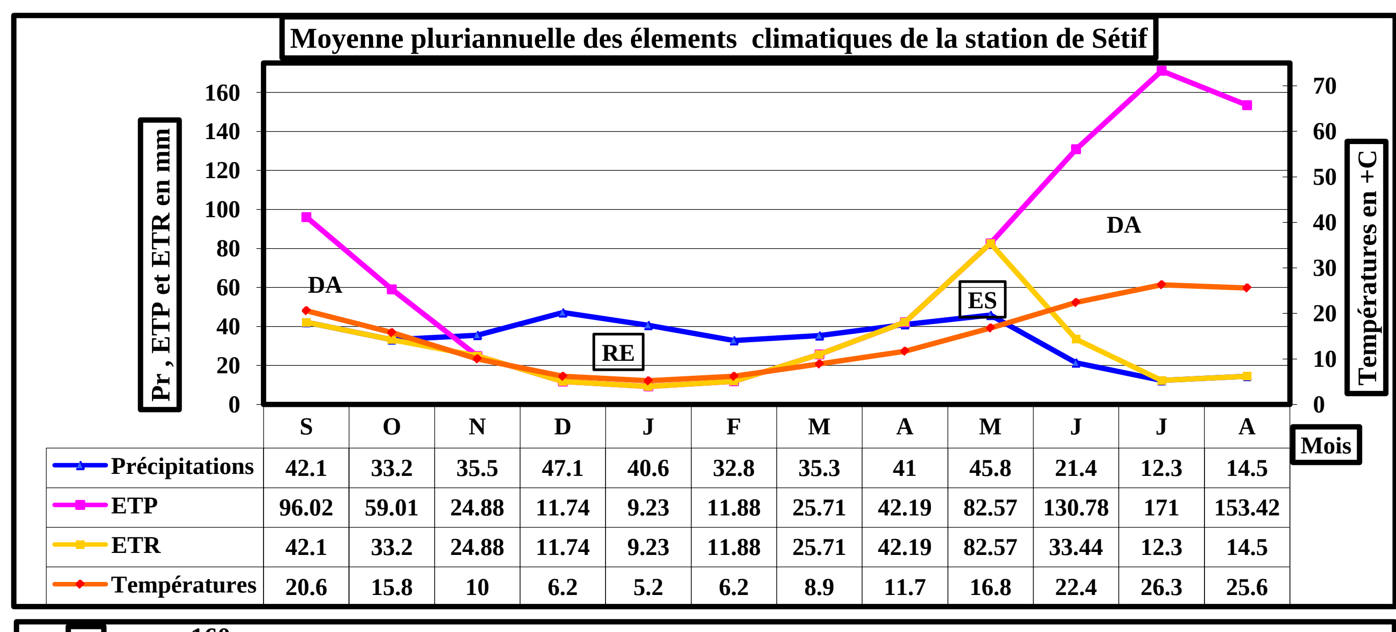
D'après le calcul du bilan hydrique on peut connaître :

- ***BH*** : Bilan hydrique (des valeurs positives ou négatives). « **BH = P – ETP** »
- ***VR*** : Variation de la réserve ; qui détermine les quantités d'eau et leur variations au niveau de la réserve souterraine.
- ***RU*** : Réserve utile **; RU = VR** accumulée, mais lorsqu'elle devient égale à la **RFU** = 50 mm, la quantité restante c'est l'excédent.
- ***DA*** : Déficit agricole, **DA = ETP – ETR**.

La méthode de Thornthwaite est critiquée par plusieurs chercheurs, on site L. Serra en 1954, selon lui cette méthode donne par rapport aux mesures effectuées avec des lysimètres des résultats sous-estimés en zones arides et semi arides, et surestimés dans les zones tropicales humides ou équatoriales, elle conviendrait seulement aux régions humides et sub-humides de la zone tempérée, là où elle a été mise au point.

Tableau 30:Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite à la station de Sétif (1981-2010)

Mois	T(C°)	IT	CL	ETPc(mm)	P(mm)	BH(mm)	CH	VR	RFU	ETR(mm)	Def(mm)	Exc(mm)
S	20,6	8,53	1,03	96,02	42,1	-53,9	-0,6	0,0	0	42,1	53,92	0
O	15,8	5,7	0,96	59,01	33,2	-25,8	-0,4	0,0	0	33,2	25,81	0
N	10	2,85	0,83	24,88	35,5	10,6	0,4	10,6	10,62	24,88	0	0
D	6,2	1,38	0,83	11,74	47,1	35,4	3,0	35,4	45,98	11,74	0	0
J	5,2	1,06	0,86	9,23	40,6	31,4	3,4	4,0	50	9,23	0	27,35
F	6,2	1,38	0,84	11,88	32,8	20,9	1,8	0,0	50	11,88	0	20,92
M	8,9	2,39	1,03	25,71	35,3	9,6	0,4	0,0	50	25,71	0	9,59
A	11,7	3,62	1,1	42,19	41	-1,2	0,0	-1,2	48,81	42,19	0	0
M	16,8	6,26	1,22	82,57	45,8	-36,8	-0,4	-36,8	12,04	82,57	0	0
J	22,4	9,68	1,23	130,78	21,4	-109,4	-0,8	-12,0	0	33,44	97,34	0
J	26,3	12,34	1,25	171	12,3	-158,7	-0,9	0,0	0	12,3	158,7	0
A	25,6	11,85	1,17	153,42	14,5	-138,9	-0,9	0,0	0	14,5	138,92	0
Annuel	**14,6**	**67.04**	/	**818,43**	**401,6**	**-416,8**	/	/	/	**343,74**	**474,69**	**57,86**



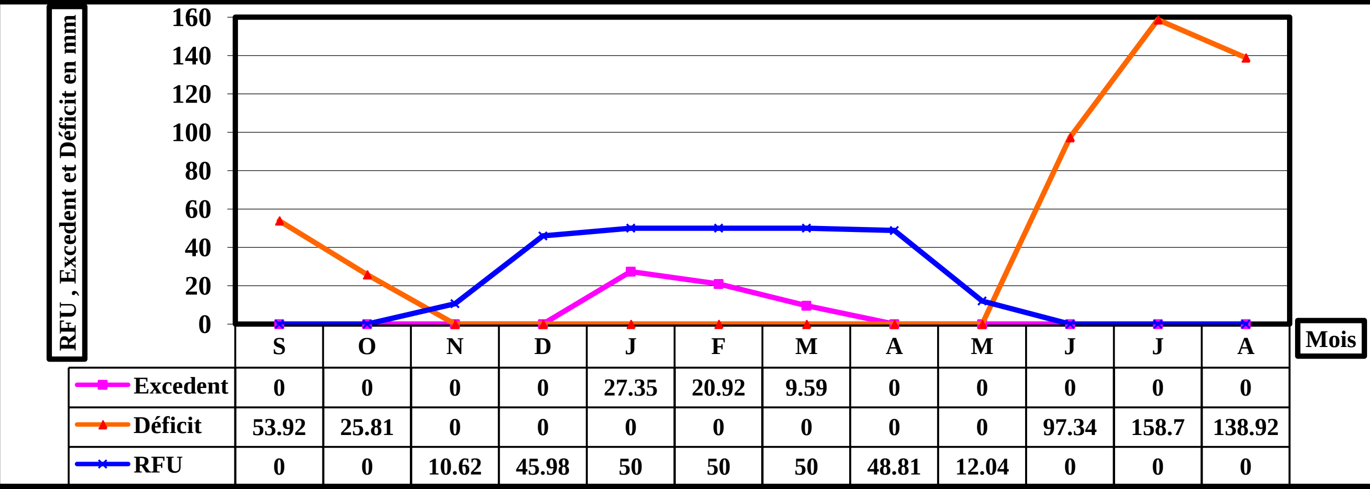


Figure.43: Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W Thornthwaite de la station de Sétif (1980/1981- 2009/2010)

Tableau31:Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite à la station de Ain Zada (86/2010)

Mois	T(C°)	IT	CL	ETPc(mm)	P(mm)	BH(mm)	CH	VR	RFU	ETR(mm)	Def(mm)	Exc(mm)
S	22,12	9,48	1,03	105,55	43,76	-61,8	-0,6	0,0	0	43,76	61,79	0
O	16,22	6,1	0,96	59,15	22	-37,2	-0,6	0,0	0	22	37,15	0
N	11,54	3,12	0,83	29,26	33,42	4,2	0,1	4,2	4,16	29,26	0	0
D	7,37	1,67	0,83	14,02	43,62	29,6	2,1	29,6	33,76	14,02	0	0
J	7,09	1,32	0,86	13,63	34,88	21,3	1,6	16,2	50	13,63	0	5,01
F	7,58	1,7	0,84	14,86	25,95	11,1	0,7	0,0	50	14,86	0	11,09
M	9,74	2,56	1,03	27,49	31,19	3,7	0,1	0,0	50	27,49	0	3,7
A	12,04	3,97	1,1	41,57	41,04	-0,5	0,0	-0,5	49,47	41,57	0	0
M	17,71	6,33	1,22	86,83	37,99	-48,8	-0,6	-48,8	0,63	86,83	0	0
J	22,6	9,98	1,23	130,58	19,89	-110,7	-0,8	-0,6	0	20,52	110,06	0
J	25,9	12,74	1,25	165,94	12,78	-153,2	-0,9	0,0	0	12,78	153,16	0
A	25,52	12,41	1,17	151,6	13,07	-138,5	-0,9	0,0	0	13,07	138,53	0
Annuel	**15,45**	**71,38**	/	**840,48**	**359,59**	**-480,9**	/	/	/	**339,79**	**500,69**	**19,8**

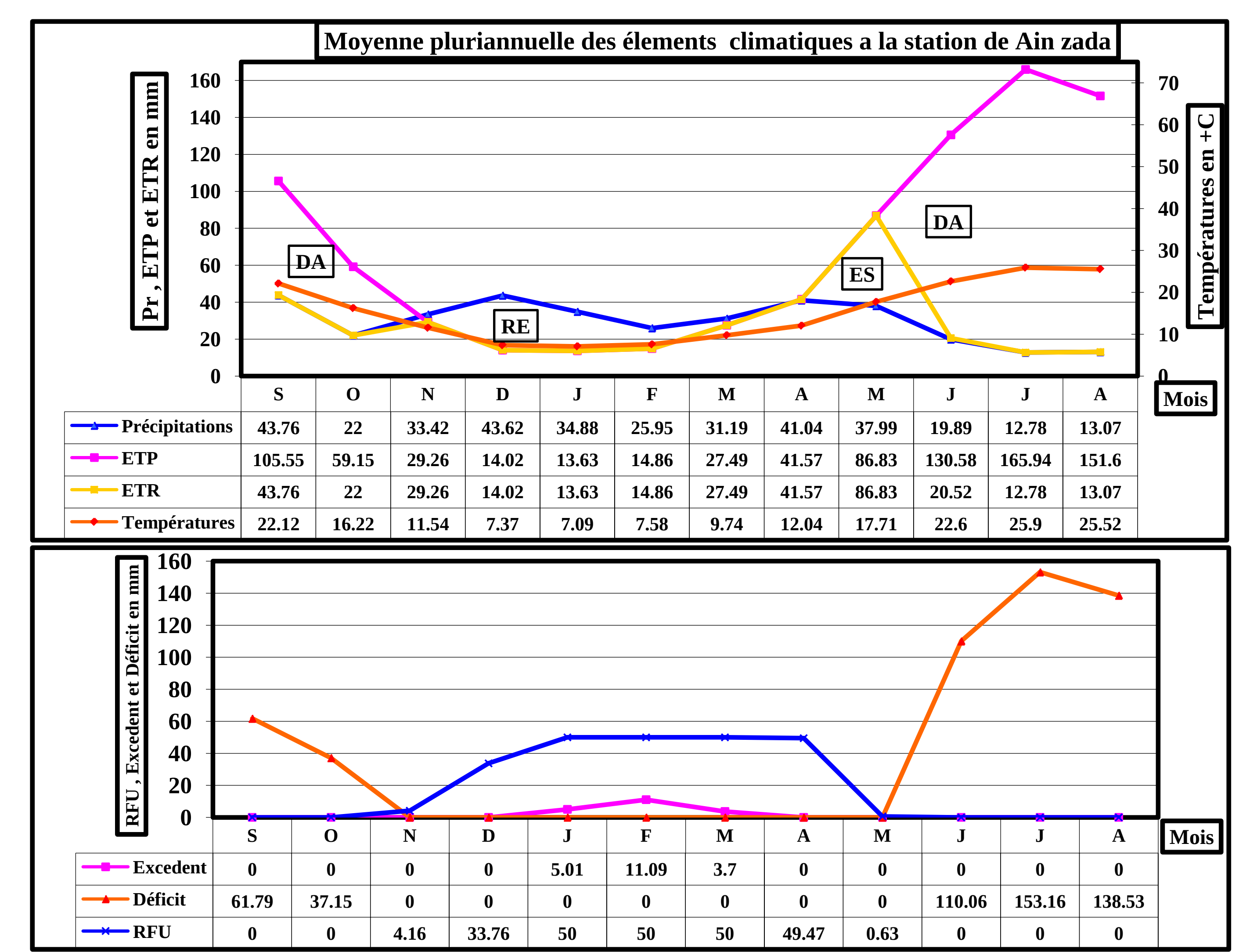
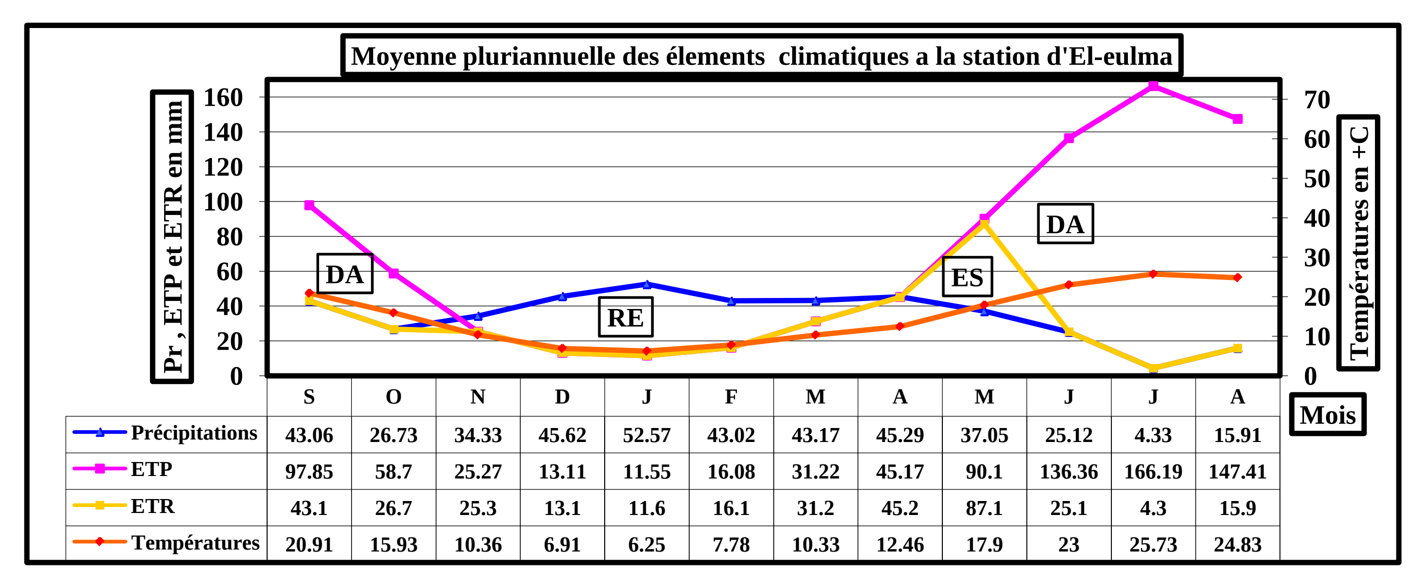


Figure 44 : Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W Thornthwaite de la station de Ain Zada (1980/1981 - 2009/2010)

Tableau32:Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite à la station d'El-Eulma(71-2009)

Mois	T(C°)	IT	CL	ETPc(mm)	P(mm)	BH (mm)	CH	VR	RFU	ETR(mm)	Def(mm)	Exc.(mm)
S	20,9	8,72	1,03	97,85	43,06	-54,8	-0,6	0,0	0	43,06	54,79	0
O	15,9	5,77	0,96	58,7	26,73	-32,0	-0,5	0,0	0	26,73	31,97	0
N	10,4	3,01	0 ,83	25,27	34,33	9,1	0,4	9,1	9,06	25,27	0	0
D	6,91	1,63	0,83	13,11	45,62	32,5	2,5	32,5	41,57	13,11	0	0
J	6,25	1,4	0,86	11,55	52,57	41,0	3,6	8,4	50	11,55	0	44,14
F	7,78	1,95	0,84	16,08	43,02	26,9	1,7	0,0	50	16,08	0	26,94
M	10,3	2,99	1,03	31,22	43,17	12,0	0,4	0,0	50	31,22	0	11,95
A	12,5	3,98	1,1	45,17	45,29	0,1	0,0	0,0	50	45,17	0	0,12
M	17,9	6,89	1,22	90,1	37,05	-53,1	-0,6	-50,0	0	87,05	3,05	0
J	23	10	1,23	136,36	25,12	-111,2	-0,8	0,0	0	25,12	111,24	0
J	25,7	11,9	1,25	166,19	4,33	-161,9	-1,0	0,0	0	4,33	161,86	0
A	24,8	11,4	1,17	147,41	15,91	-131,5	-0,9	0,0	0	15,91	131,5	0
Annuel	**15,2**	**69,6**	**/**	**839,01**	**416,2**	**-422,8**	**/**	**/**	**/**	**344,6**	**494,41**	**83,15**



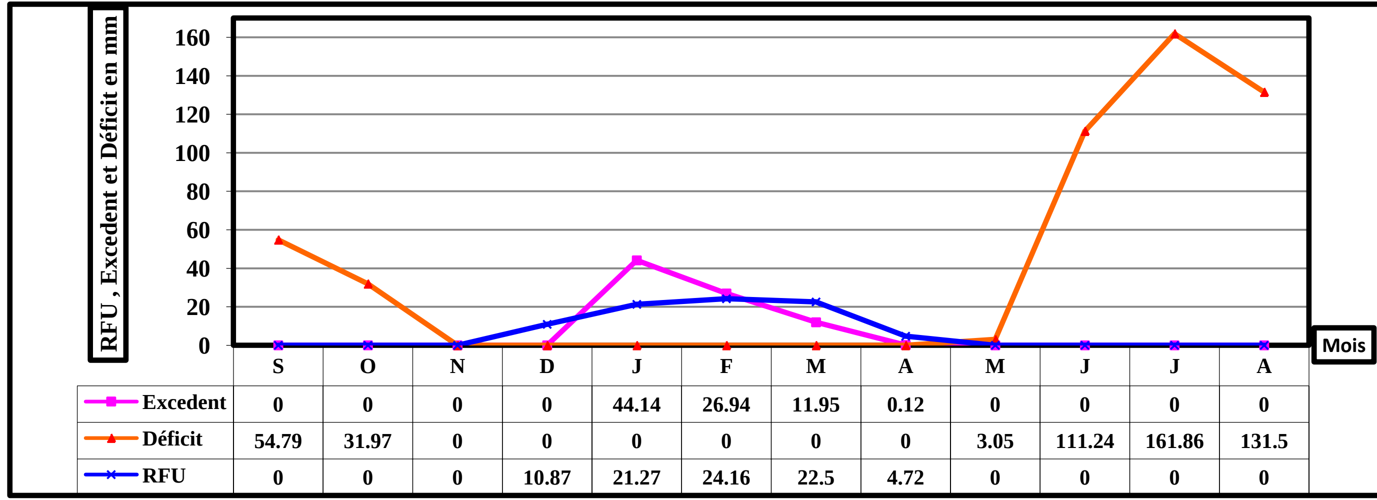
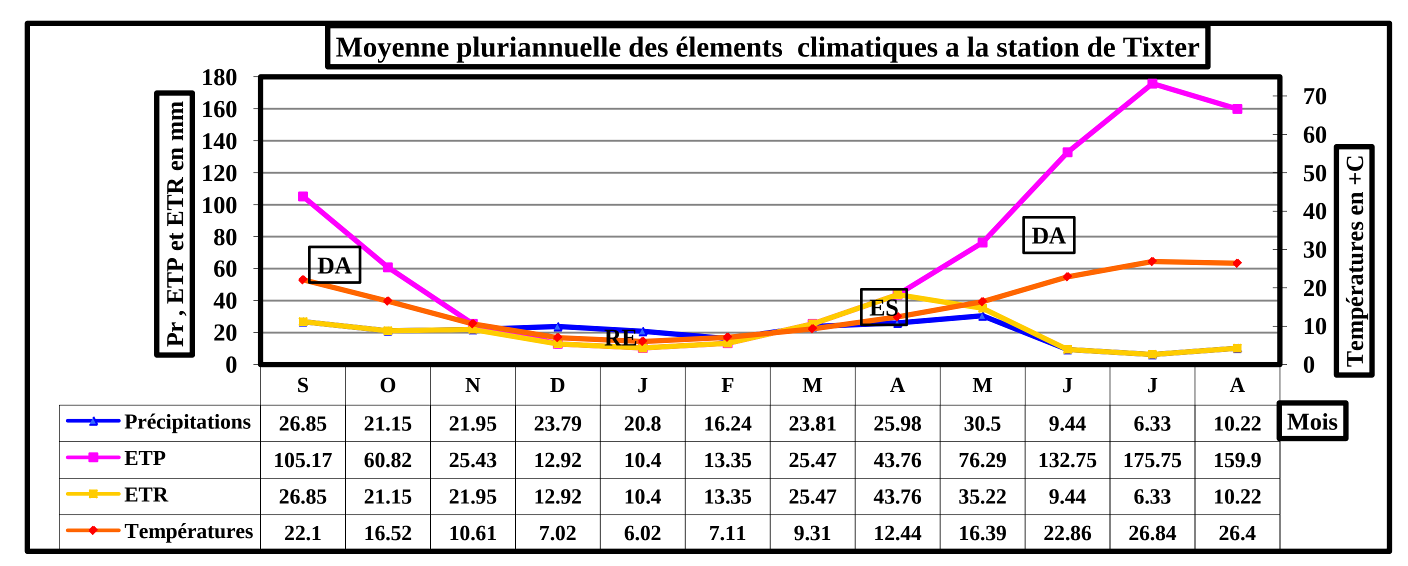


Figure 45 : Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W Thornthwaite de la station de El Eulma (1971/1972-2008/2009)

Tableau 33:Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite à la station de Tixter(81-2009)

Mois	T(C°)	IT	CL	ETPc(mm)	P(mm)	BH(mm)	CH	VR	RFU	ETR(mm)	Def(mm)	Exc(mm)
S	22,1	9,48	1,03	105,17	26,85	-78,3	-0,7	0,0	0	26,85	78,32	0
O	16,5	6,1	0,96	60,82	21,15	-39,7	-0,7	0,0	0	21,15	39,67	0
N	10,6	3,12	0,83	25,43	21,95	-3,5	-0,1	0,0	0	21,95	3,48	0
D	7,02	1,67	0,83	12,92	23,79	10,9	0,8	10,9	10,87	12,92	0	0
J	6,02	1,32	0,86	10,4	20,8	10,4	1,0	10,4	21,27	10,4	0	0
F	7,11	1,7	0,84	13,35	16,24	2,9	0,2	2,9	24,16	13,35	0	0
M	9,31	2,56	1,03	25,47	23,81	-1,7	-0,1	-1,7	22,5	25,47	0	0
A	12,4	3,97	1,1	43,76	25,98	-17,8	-0,4	-17,8	4,72	43,76	0	0
M	16,4	6,33	1,22	76,29	30,5	-45,8	-0,6	-4,7	0	35,22	41,07	0
J	22,9	9,98	1,23	132,75	9,44	-123,3	-0,9	0,0	0	9,44	123,31	0
J	26,8	12,7	1,25	175,75	6,33	-169,4	-1,0	0,0	0	6,33	169,42	0
A	26,4	12,4	1,17	159,9	10,22	-149,7	-0,9	0,0	0	10,22	149,68	0
Annuel	**15,3**	**71,4**	**/**	**842,0**	**237,06**	**-605,0**	**/**	**/**	**/**	**237,1**	**604,95**	**0,0**



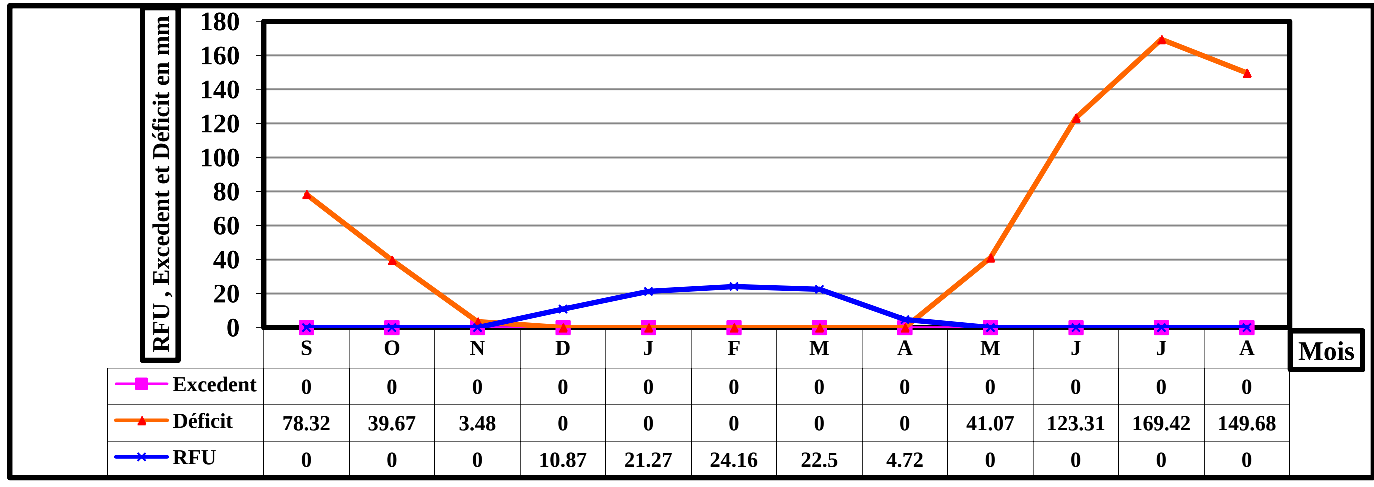


Figure 46 : Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W Thornthwaite de la station de Tixter (1981/2009- 2008/2009)

4.3.1.1. Résultats et discussion

La représentation graphique des bilans d'eau selon la méthode de Thornthwaite des stations de Sétif, Ain Zada, El Eulma, et Tixter montre que l'évapotranspiration maximale a été observée pendant le mois de Juillet pour les valeurs suivantes avec l'ordre successive 171mm, 165.94 mm, 166.19 mm et 175.75 mm, ce qui produit des déficits agricoles avec les valeurs suivantes 158.7 mm (Sétif),155,46 mm (Ain Zada), 161.86 mm(El Eulma) et 164.95 mm (Tixter), nécessitants l'irrigation pour les zones des cultures.

Cependant, durant les mois de Novembre jusqu'au Mars, on remarque une recharge de la nappe pour les stations de Ain Zada et Sétif, alors que le recharge se fait de Novembre jusqu'à Avril pour la station de El Eulma, et de Décembre au Mars pour Tixter. Lorsque l'eau de recharge dépasse la RFU, le surplus va partir vers le ruissellement superficiel et alimente le barrage de Ain zada.

5. Calcul du ruissellement :

Lors de leur étude sur les bassins tunisiens, Tixteront et Berkaloff ont donné en 1961 une méthode de calcul du ruissellement utilisable lorsque les précipitations sont inférieures à 600 mm, l'erreur étant alors inférieure à 10%.

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

Où : ***R*** : ruissellement (mm);

P : précipitation moyenne annuelle (mm);

ETP : évapotranspiration potentielle annuelle (mm).

Cette méthode de calcul du ruissellement est critiquée car elle est empirique donc elle nécessite des corrections à l'aide d'installations lysimétriques d'une part, et son utilisation est limitée aux précipitations moyennes annuelles inférieures à 600 mm d'autre part.

Les valeurs du ruissellement selon la méthode de Tixteront et Berkaloff sont portées dans le tableau n 34.

Tableau 34 : Le ruissellement selon la méthode de Tixteront et Berkaloff

Stations	Période	P (m)	ETP(m)	R (m)	R(%)
Sétif	1981-2010	**0,40160**	**0,81843**	0,03223	8,026%
Ain zada	1986-2010	**0,35958**	**0,84048**	0,02193	6,101%
El Eulma	1971-2009	**0,41620**	**0,83901**	0,03413	8,202%
Tixter	1981-2009	**0,23706**	**0,84201**	0,00626	2,642%

6. Calcul de l'infiltration :

Par définition l'infiltration est la quantité d'eau qui pénètre dans le sous sol et alimente les aquifères souterrains, ce paramètre peut être estimé à partir de la formule du bilan hydrologique donnée par la relation suivante :

$$P = ETR + R + I \quad \Rightarrow\Rightarrow \quad I = P - (ETR + R)$$

Où : **P** : précipitation (mm)

ETR : déficit d'écoulement ou (D) (mm)

R : ruissellement (mm)

I : infiltration (mm)

Tableau.35 : Les valeurs des différents paramètres du bilan hydrologique.

Stations	Période	P (mm)	ETR (mm)	ETR(%)	R (mm)	R en (%)	I(mm)	I en (%)
Sétif	1981-2010	**401,60**	**343,74**	85,59%	**32,23**	8,02%	**25,63**	6,38%
Ain zada	1986-2010	**359,58**	**339,79**	94,49%	**21,93**	5,68%	**1,15**	0,33%
El Eulma	1971-2009	**416,20**	**344,55**	82,78%	**34,13**	8,20%	**37,52**	9,01%
Tixter	1981-2009	**237,06**	**237,06**	99,30%	**6,26**	2,64%	**nul**	nul

7. Conclusion :

L'étude climatologique a abouti aux conclusions suivantes :

- la région étudiée est caractérisée par un climat semi-aride, avec une saison pluvieuse allant de mois de Novembre jusqu'au Avril, et un été sec et ensoleille.
- Les hauteurs moyennes interannuelles des précipitations varient d'une station à l'autre, elles sont plus importantes dans les stations ayant une altitude importante, elles décroissent du Nord vers le Sud et de l'Est vers l'Ouest.
- Les températures moyennes interannuelles diffèrent légèrement entre le centre de la zone d'étude et ses limites Nord et Sud, elles diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre, et du Sud vers le Nord du bassin.
- L'étude des indices climatiques a confirmé l'appartenance de la zone d'étude au climat semi aride influencé par les courants humides de la méditerrané en hiver et chauds (sirocco) du Sahara en été.
- Pour le calcule du bilan hydrique, la valeur de la réserve facilement utilisable (RFU) à été choisie en fonction de la nature du terrain (RFU = 50 mm).
- L'estimation du bilan d'eau par la méthode de Thornthwaite a montré que, a partir du mois de Novembre, l'apport considérable de la pluie, la chute de la température et la diminution de l'évapotranspiration permettent la recharge du sol mais un déficit agricole a enregistré à partir du mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre pour les stations de Sétif et Ain zada , plus le mois de Mais pour la station d'el-Eulma, et à partir du mois de Mai jusqu'au mois de Novembre pour la station de Tixter , c'est la période des basses eaux et c'est également la saison durant laquelle on irrigue, afin de rattraper ce déficit les agricultures puisent de l'eau des oueds souvent pollués et font contaminer non seulement leurs cultures mais aussi les eaux souterraines (période corresponde à l'épuisement du stock).
- La quantité d'eau ruisselée enregistrée a partir du mois de Janvier au mois de Mars pour les stations de Sétif et Ain zada, plus le mois d'Avril pour la station d'el-Eulma, c'est la période la plus importante pour l'alimentation du barrage de Ain zada , alors pour la station de Tixter le ruissèlement est nul se qui traduit que le barrage est alimenté du coté nord et Nord-est du bassin et rarement du cote sud .

Chapitre : IV

Caractéristiques hydrotechniques du barrage de Ain Zada Wilaya de Bordj Bou-Arreridj.

Chapitre IV

Caractéristiques hydrotechniques du barrage de Ain Zada Wilaya de Bordj Bou-Arreridj.

1. Introduction et Généralités sur les barrages :

1.1. Définitions et classification des barrages

Un barrage est un ouvrage d'art construit en travers un cours d'eau, dans le but de créer des réservoirs (retenues) qui permettent d'accumuler l'eau durant les périodes pluvieuses pour pouvoir en distribuer ensuite durant les périodes sèches.

La classification des barrages est basée, en général, sur les normes de projection, les spécificités techniques de construction et en particulier les risques attendus à l'aval de l'ouvrage après sa rupture. Comme elle peut se faire également selon plusieurs critères parmi lesquels on peut citer : les matériaux de la fondation, les matériaux de construction ou la façon de s'opposer à la poussée de l'eau.

Le critère le plus important de la classification de ces ouvrages hydrauliques reste la hauteur (H, hauteur prise à partir de la fondation) :

- grands barrages: H > 50 m ;
- moyens barrages : 15 m < H < 50 m ;
- petits barrages : H < 15 m.

En Algérie, sont considérés comme grands barrages :

• tous les barrages dont la hauteur H ≥15 mètres (hauteur prise à partir des fondations).

• tous les barrages dont la hauteur 10≤ H ≥15 mètres et qui satisfont à l'une des conditions suivantes :

- capacité supérieure ou égale à 1 million de mètres cubes ;
- longueur en crête supérieure à 500 mètres ;
- débit maximum de l'évacuateur de crue égal ou supérieur à 2000 m^3/s ;
- barrage d'une conception inhabituelle ou barrage dont les fondations présentent des caractéristiques exceptionnelles.

Tous les barrages qui ne répondent pas à ces critères seront considérés comme petits barrages ou retenues collinaires.

Tenant compte des critères ci-dessus, le barrage de Ain Zada se classe dans la catégorie des grands barrages avec une hauteur H égale 50 m

1.2. Les différents types de barrages :

Les barrages peuvent être classés en deux grands types, les barrages rigides, en béton ou en maçonnerie et les barrages souples, en enrochement ou en terre.

1.2.1. Barrages rigides en béton ou en maçonnerie :

Les barrages en béton se regroupent principalement en trois types :

- *Barrages poids :* par leur poids et leurs sections trapézoïdales, ils résistent à la poussée de l'eau. Tout comme les barrages en maçonnerie, sont des ouvrages rigides construits sur un substratum rocheux (calcaire par exemple) et leur conception est aussi conditionnée par la qualité des fondations.

- *Barrages voûtes :* ce sont des barrages dont la poussée de l'eau est reportée sur les flancs de la vallée au moyen d'un mur de béton arqué horizontalement, et parfois verticalement (on la qualifie alors de voûte "à double courbure"). La technique de barrage-voûte nécessite une vallée plutôt étroite et rocheuse.
- *Barrages à contreforts ou multivoûtes :* les barrages à contreforts ou multivoûtes, sont bien adaptés aux vallées larges avec une fondation rocheuse de bonne qualité. Ce type de barrages comprend :

- une série de murs parallèles, généralement de forme triangulaire plus ou moins épais et plus ou moins espacés appelés les contreforts ;
- une bouchure entre contreforts transmettant à ceux-ci la poussée de l'eau.

1.2.2. Barrages souples en enrochement ou en terre :

Il existe trois schémas principaux de structure de barrage en terre :

- *barrages en terre homogène :* les barrages en terre homogène sont des digues en remblai, constituées d'un seul matériau suffisamment imperméable pour assurer à la fois l'étanchéité et la résistance. Ce type de barrages est bien adapté aux sites ayant une fondation déformable car ils peuvent accepter des tassements de la fondation, par contre ils ne supportent pas bien les variations rapides du plan d'eau et ne supportent pas ou très peu la submersion sur la crête.
- *barrages zonés ou à noyau étanche :* dont le barrage de Ain Zada fait partie (fig n.47), les barrages zonés sont des ouvrages dont le découpage du corps est constitué de plusieurs types de matériaux appelé zonage. Le noyau central est argileux, afin d'assurer l'étanchéité, et les appuis sont constitués de recharges de matériaux plus perméables.
- *Barrages à masque d'étanchéité :* ils sont constitués d'un remblai plus ou moins perméable assurant la stabilité d'ensemble alors que l'étanchéité est assurée par un masque construit sur le parement amont du barrage. Ce masque peut être en béton armé (il se construit actuellement des nombreux et très grands barrages en enrochement à masque en béton armé), en béton bitumineux ou constitué d'une membrane mince (les plus fréquentes : membrane PVC, membrane bitumineuse).

2. Caractéristiques hydrotechniques du barrage de Ain Zada :

2.1. Situation géographique :

Le barrage de Ain Zada est situé dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj à 25 km à l'ouest de Sétif et à 40 km à l'est de B.B. Arreridj. Il est implanté dans la commune d'Ain-Taghrout sur l'Oued Boussellam (direction Sud-Nord) au niveau de la jonction avec l'Oued Ain-Taghrout à l'ouest, l'Oued Kharoua au Nord-est et l'Oued Malah au Sud-est .

L'étude du barrage de Ain Zada est faite au début par le bureau d'étude Américain BECHTEL en 1979, et réalisée par l'entreprise Hidrotéchnika- Belgrade- yugoslavie, l'étude d'exécution et l'étude des travaux faite par Atkins–Humphreys et Sir M.MacDonal-Angleterre, de 1981 a 1986 l'année mis en service . C'est un barrage en remblai de type en enrochement avec un noyau central en argile, de 55 m de hauteur, Il est doté d'un évacuateur de crues sans organes de réglage et d'un coursier à ciel ouvert sur l'un des cotés de la digue.

Le barrage de Ain zada permettra actuellement d'emmagasiner un volume d'eau de 121,400 Mm³ régularisant ainsi un volume 50Mm³ par an, afin d'assurer les besoins en eau potable et industrielles des populations des villes en rapide expansion de la région notamment les villes de Sétif, Bordj Bou-Arreridj, El Eulma et Bougaa et d'autre commune.

2.2 Les caractéristiques hydrologiques et paramètres du barrage :

2.2.1 Le barrage et sa retenue :

-Type du barrage:………………………………………………….……….…..en terre
-Déversoir (Evacuateur de crues) :…………………….… ……………....saut de ski
-Capacité initiale:………………………………………… ……………....125.000Mm³
-Envasement annuel :……………………………………… ……………..0.240 Mm³
-Cote retenue normale :…………………………………… ……….…. 855 m
-Capacité derniers levé bathymétrique septembre 2004 :……………….…...121.400 Mm³
-Tranche morte (838m) :………………………………… ……………12.068 Mm³
-Capacité utile :…………………………………………… ……………...109.332Mm³
-Bassin versant :…………………………………………… ……………..1800 km²
-Altitude des plus hautes eaux (PHE) :………………………… …………....864.20 m
-Volume (PHE) :…………………………………………… ……………..261.200 Mm³
-Surface (PHE) :…………………………………………… ……….……1920 ha
-Cote minimale :…………………………………………… …………..828.12 m
-Volume (cote minimale) :………………………………… …………...0.001 Mm³
-Surface (cote minimale) :………………………………… …………...0.1 ha
-Précipitation moyenne annuelle :………………………… ……….…..400 mm
-Apport moyen annuel :…………………………………… …………...79 Mm³
-Evaporation moyenne annuelle :…………………………… ……….……10 Mm³
-Percolation moyenne annuelle :……………………………… …………..6 Mm³
-Déversement moyen annuel :……………………………… ……………..…27 Mm³
-Volume régularisé :………………………………………… ………….....50 Mm³

2.2.2. La digue principale :

La digue ou le barrage principal est une section souvent relativement épaisse, dont la propre masse suffit à résister à la pression exercée par l'eau et la forme est dans la plupart des cas simple (triangle-rectangle).

Le remblai se compose de recharge en enrochement compacté supportant un noyau en argile incliné, les deux matériaux étant séparés par un filtre à deux zones, le talus amont du remblai est protégé contre le batillage par un riprap. Les volumes de remblai correspondant aux déférents éléments sont :

-Recharges en enrochement :……………………….……………......1950 380 m³
-Noyau en argile ..…………………………………..…………….…..434 430 m³
-Filtres :……………………………………………..……………….…..191 530 m³
-Rip – rap :……………………………………….……..……………..…49 580 m³
-Parement/avant Digue :…………………………..…………….... 55 810 m³
Volume total :……………………………………………….……………...2681 730 m³

D’autres caractéristiques de la digue principale du barrage :

-Elévation de la crête :…………………………………………….…….865m
-Hauteur de la crête (au dessus du niveau du lit de l’oued) :…….………55m
-largeur de la crête :……………………………………………….……. 7m
-langueur de la crête :…………………………………………………688m
-pente talus amont :……………………………………………………2.5/1
-pente talus aval :…………………………………………………….. 1.8/1

Excavation

-Excavations des fondations de la digue et des ouvrages de prise :… ……..….940 000 m³
-Excavations des fondations de l’évacuateur des crues :…………….………480 000 m³
Volume total excavé :………………………………………….….……....1420 000 m³

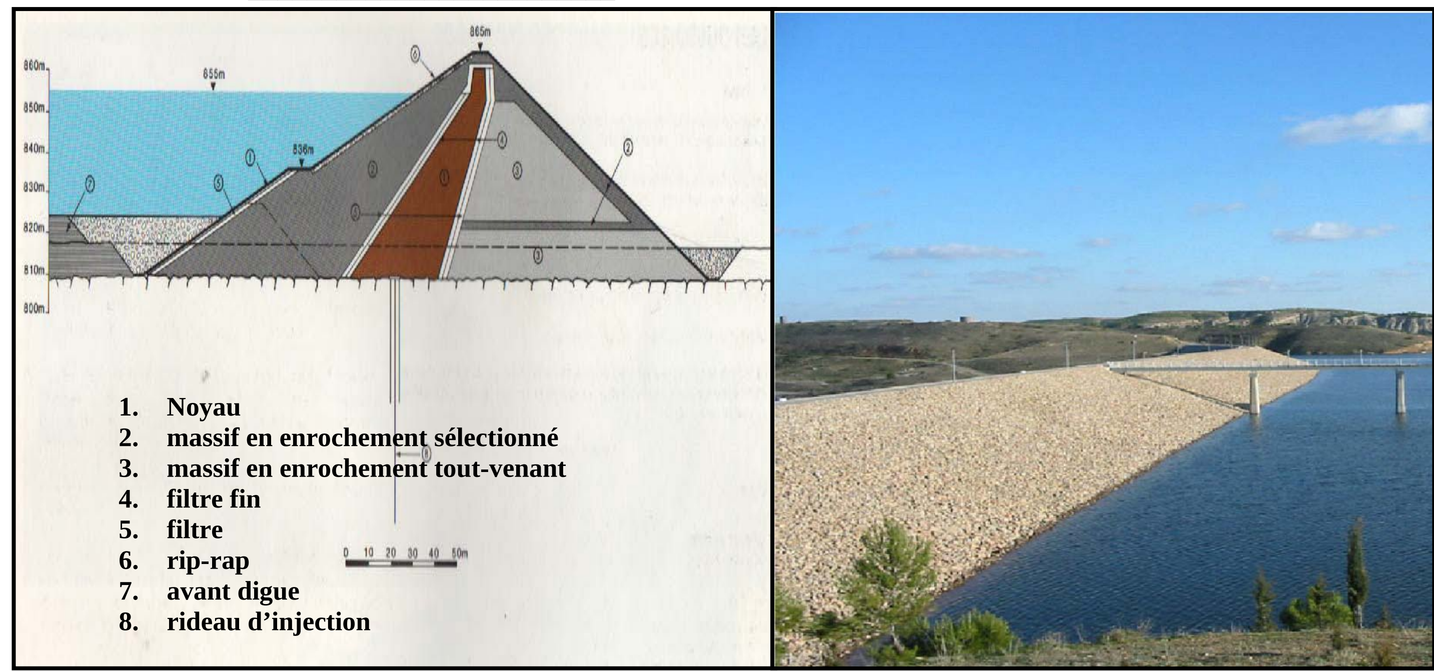


Fig. 47:Photo de la digue principale et coupe en travers du barrage de Ain zada(d'après ANBT)

2.2.3. Les ouvrages annexes du barrage

2.2.3.1 Evacuateur de crue *(déversoir)*:

Evacuateur de crues est situé à distance du barrage dans un ravin naturel qui a été élargi en procédant a des excavations , l'évacuateur comprend un déversoir de surface en doucine, de 75 m de large au niveau de la crête, se déversant dans un coursier rectangulaire de gradient constant de 8,4% dont la largeur passe de 75 m en amont a 40 m en aval. Le coursier fait 180 m de long et se termine par un saut-de-ski qui est étudié pour projeter le jet à grande vitesse loin de l'ouvrage.

-Elévation du seuil du déversoir :…………………………………………..….855m
-Largeur du déversoir en amont (doucine) :………………….………………..75m
-Largeur du déversoir en aval (saut de ski):……………….……………..….45m
-Longueur du coursier :………………………………………….……………180m
-Pente du coursier :…………………………………………….……..……….. 8.4%

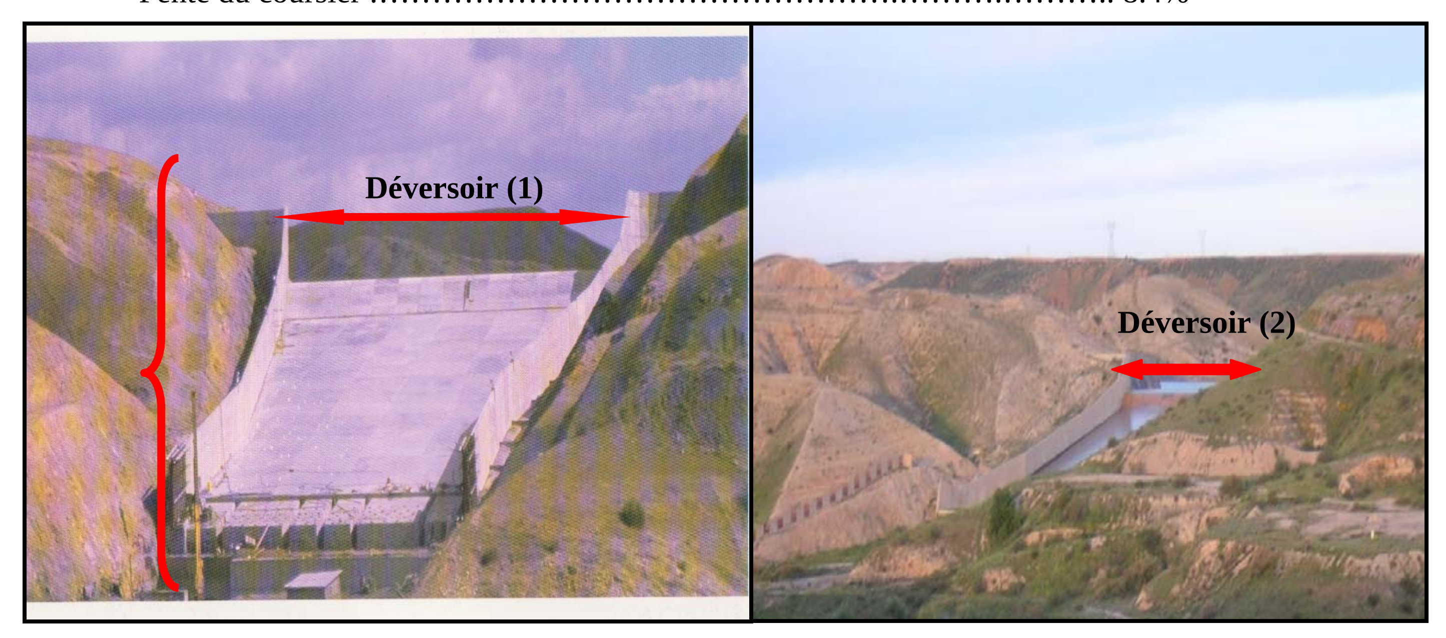


Fig.48: Photos de l'évacuateur de crue de type saut de ski du barrage de Ain zada (1) pendant leur construction 1984 et (2) l'évacuateur de crue déversé.

2.2.3.2 Ouvrages de prise:

L'eau est prélevée dans le barrage par les ouvrages de prise qui comprenant ; la tour, la galerie, une chambre d'interconnexion, les ouvrages de sortie et les équipements hydromécaniques.

*__La tour de prise__ à pour fonction de permettre des lâchers d'eau depuis n'importe lequel de trois niveaux, de façon a pouvoir prélever l'eau aérée proche de la surface du barrage quel que soit son niveau. Cette tour permet d'accéder aux vannes et à la tuyauterie de prise on y accède par une passerelle depuis la crête de la digue.

*__Les prises d'eau__ pour l'alimentation (d'exploitation), au nombre de deux, situées dans une tour proche du pied amont de la digue, la cote de la première prise 848m et la deuxième prise c'est a 838m cette dernière utilise uniquement une seul fois pendant l'année 2002 la plus sèche depuis la mise en service 1985 jusqu'à nos jour 2011. L'eau d'alimentation est ensuite transférée par une conduite de grand diamètre 1.2m à la station de pompage

*__La vidange du fond :__ Les eaux peuvent également être déversées en aval dans l'oued Boussellam, par la vidange du fond comme montre la figure n 49, c'est-à-dire les eaux qui seront utilisées pour les lâchers d'irrigation ou chasser les sédiments de la retenue

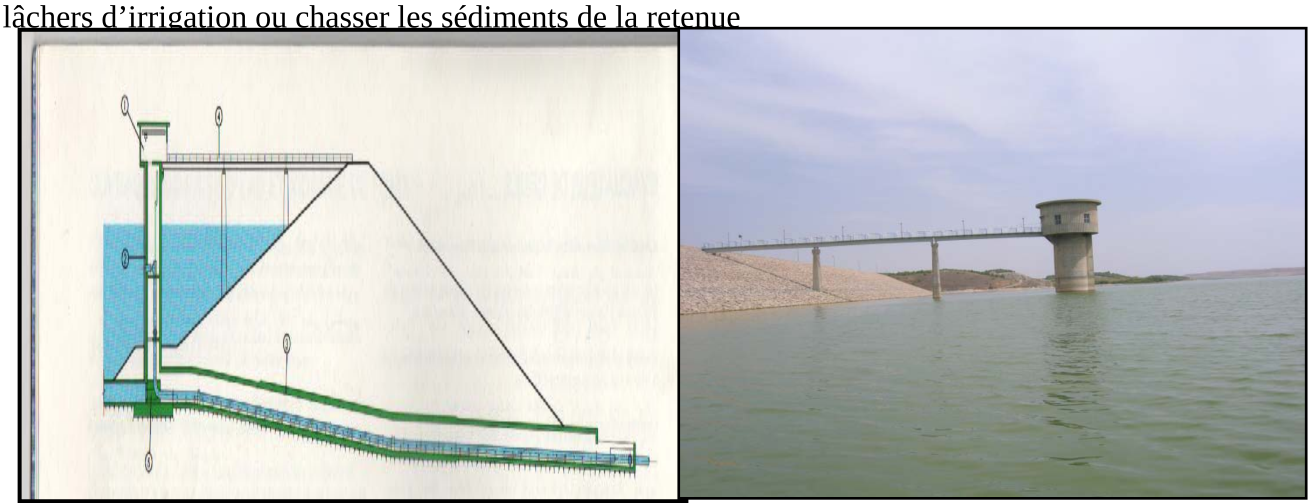


Fig.49: Schémas simplifie montre les différant ouvrages de prise du barrage de Ain zada (d'après l'ANBT)

-Hauteur de la tour :……………………………………….……………………38m
-Diamètre intérieur de la tour :………………………………………………. 5m
-Longueur de la galerie :………………………………………………...185m
-Diamètre de la galerie :…………………………..……………………..4,6m
-Cote première prise :………………………………….………………...848m
-Cote deuxième prise :……………………………………….……………..838m
-Cote vidange de fond :……………………………………..……………….827m
-Diamètre de la conduite de prise :……………………………………......1200mm
-Débit maximal de prise :………………………………….……………….12 m³/s
-Diamètre de la conduite de vidange de fond :……………….……………….1600mm
-Débit de la vidange de fond :…………………………………………………25 m³/s

2.2.3.3 Rendement de la retenue :

Débit entrant : le débit entrant annuel moyen dans le barrage est estimé à 93M m^3

* débit moyen annuel dans l'oued de Boussellam ……………………………..….79 M m^3

* débit moyen annuel de la station d'épuration de Sétif...……………………...….14 M m^3

2.2.3.4 Volume total de barrage de Ain zada *:* c'est le volume d'eau compris entre le fond du réservoir et le niveau de la retenue normale, correspondant à une valeur de 125 Mm^3 et une capacité utile de 110 Mm^3depuit la mise en service jusqu'au l'année 2004 ou le volume devient 121.400Mm^3.

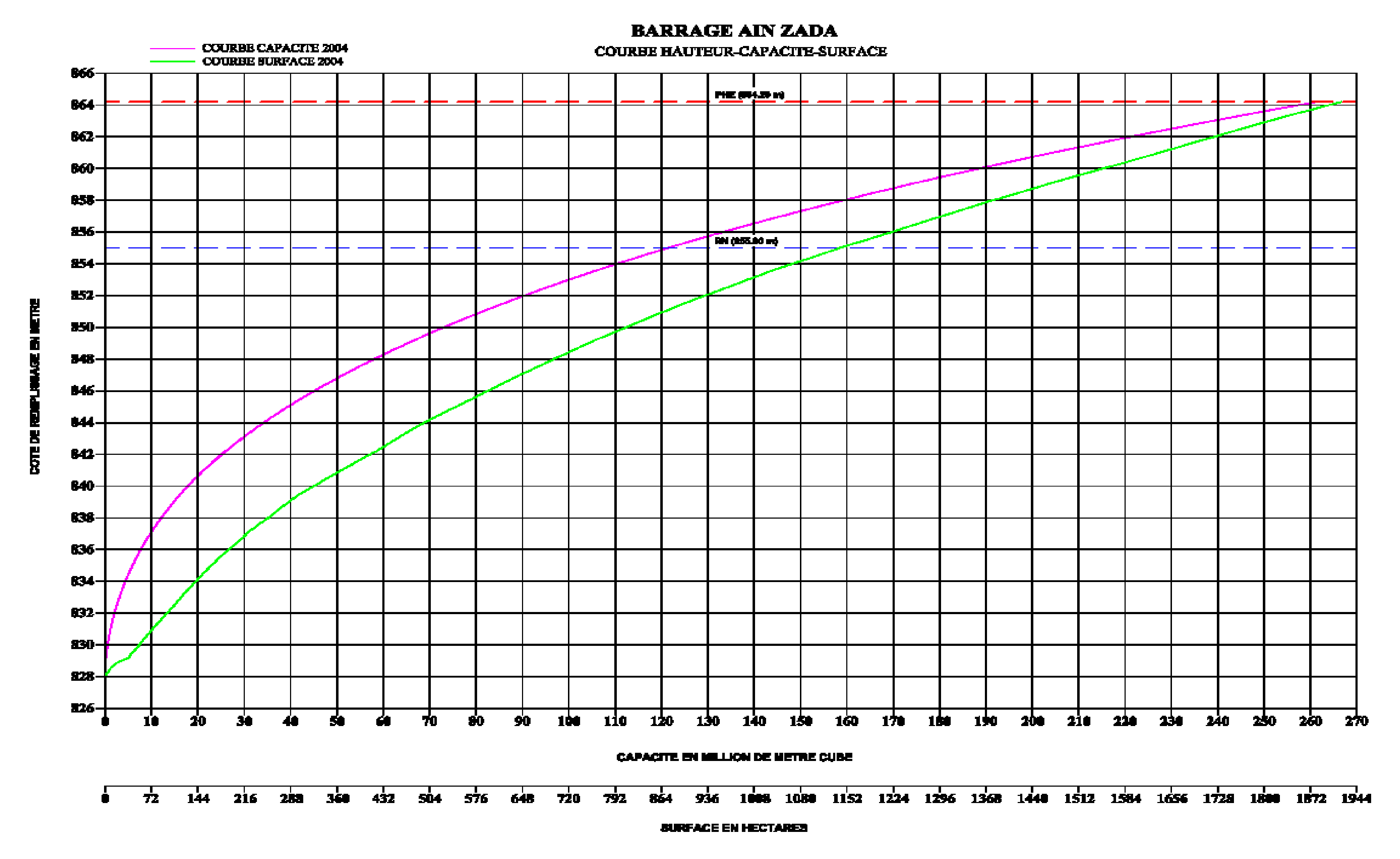


Figure 50: Courbe de remplissage du barrage de Ain Zada (d'après le groupement LEM/GEOID et l'ANBT en 2004)

3. Les Principales caractéristiques hydrologiques de la cuvette du barrage de Ain zada :

La station de jaugeage de oued Boussellam implantée en amont du site à 03 km a permis de déterminer les caractéristiques hydrologiques principales de Oued Boussellam avant la construction du barrage, grâce à l'étude du régime d'écoulement et de son niveau.

Les observations hydrométriques en aval du site du barrage ont été effectuées depuis les années 50 par la station de jaugeage de Farmatou située à 30 km au nord-est du site du barrage.

Ces deux stations sont utilisées pendant la réalisation de l'ouvrage pour leur étude hydrologique, actuellement vue le manque des stations de jaugeage plus proche au site, on va essayer d'avoir une idée sur les caractéristiques hydrologique de la cuvette du barrage de Ain zada. On se base sur les données de base nécessaires qui sont les mesures établies par l'A.N.B.T sur une série de vingt trois ans (1987/1988-2009/2010), c'est-à-dire depuis sa mise en exploitation jusqu'à la dernière année 2010.

3.1. Apport annuel et l'évolution de la capacité du barrage période (1988-2010):

A partir de la figure.51qui représente les variations mensuelle de la capacité et de (apport au barrage) en fonction du temps durant 23 ans, montre que depuis sa mise en exploitation jusqu'à l'année 92/93, ou le volume de remplissage du barrage atteint le volume normal de retenue (VNR), puis la capacité du barrage voir un abaissement durant les dix années précédentes jusqu'à l'année 01/02c'est l'années la plus sèche, ou le volume moyenne de l'eau du barrage atteint leur minimum durant cette année de 32 Mm^3 dont le volume minimal est de 19Mm^3 enregistré au mois d'Octobre 2002.

Le barrage a connu une année exceptionnelle 2003/2004 la plus pluvieuse avec un volume moyenne annuelle de remplissage de l'ordre de 121Mm^3 dans le volume maximal enregistré au mois d'Avril de 125 Mm^3 (Fig.52).

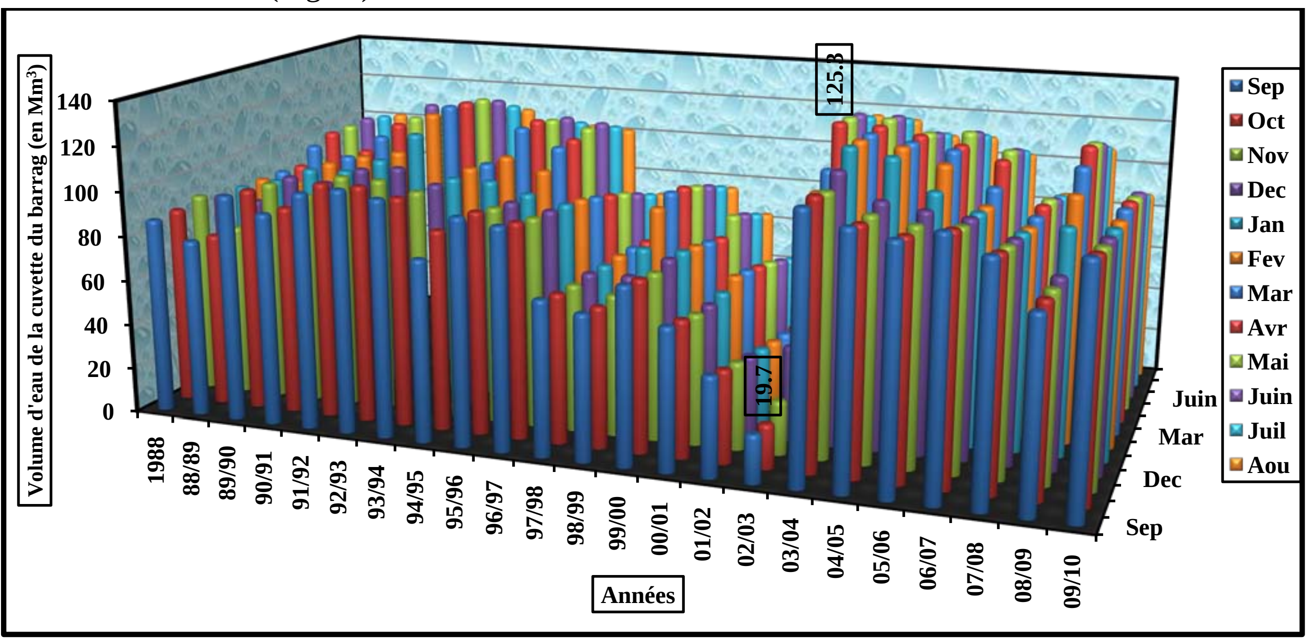


Fig N°51 : Histogramme des variations mensuelles de la capacité du barrage de Ain zada période (1988/2010 D'après l'ANBT)

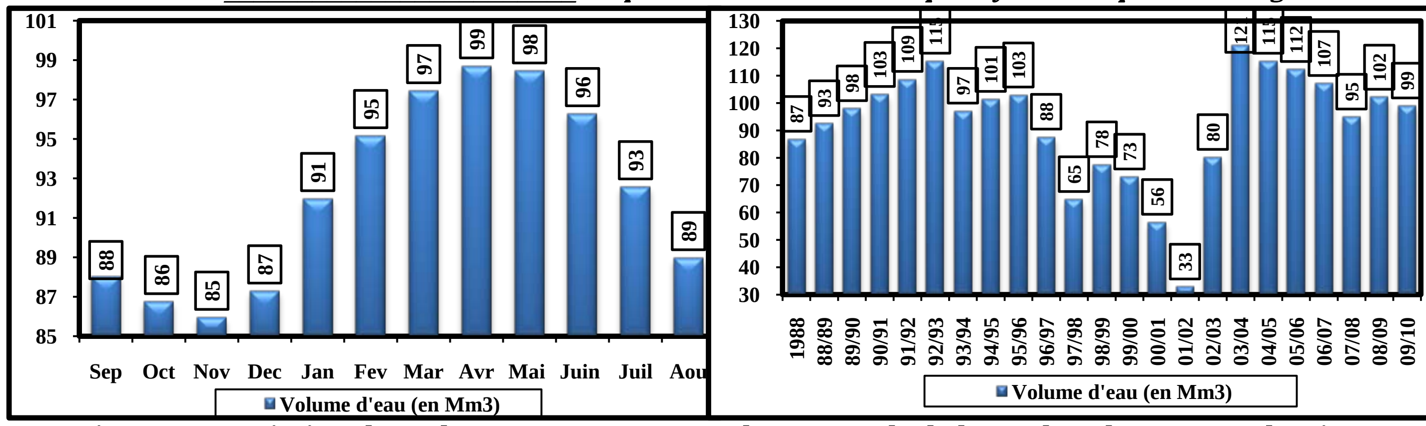


Figure 52:Variation des volumes moyens mensuels et annuels de l'eau dans le Barrage de Ain Zada période (1988/2010 D'après l'ANBT).

3.2. Apport et l'évolution des affluents positifs dans le barrage de Ain zada période (88-10):

Les principaux apports des affluents positifs de la cuvette de Ain zada sont les oueds suivant oued Boussellam, oued Ain Taghrout, Kharoua et oued Malah dont le principal c'est oued Boussellam.

Les valeurs les plus importantes des affluents positif sont marquées pendant les mois pluvieux, dans la plus élevée est enregistrée au mois de janvier avec un volume de 9Mm^3(Fig.53), alors les plus faibles sont marqués dans la période sèche surtout au mois de juillet et Aout avec un volume de 1Mm^3.

L'évolution annuelle des affluents positifs durant cette période d'étude, le volume maximum est observé au cour de l'année la plus pluvieuse 02/03 avec un volume de 134Mm^3 (Fig.53)' et le plus faible volume marqué en 96/97 avec un volume de l'ordre de 11Mm^3 et en 01/02 avec un volume de 13Mm^3 ce dernier la capacité du barrage atteint leur minimum avec un volume moyenne annuelle de 32Mm^3. Alors que la moyenne annuelle des affluents positifs pour le barrage de Ain zada durant toute cette période d'étude est de l'ordre de 43.95 Mm^3.

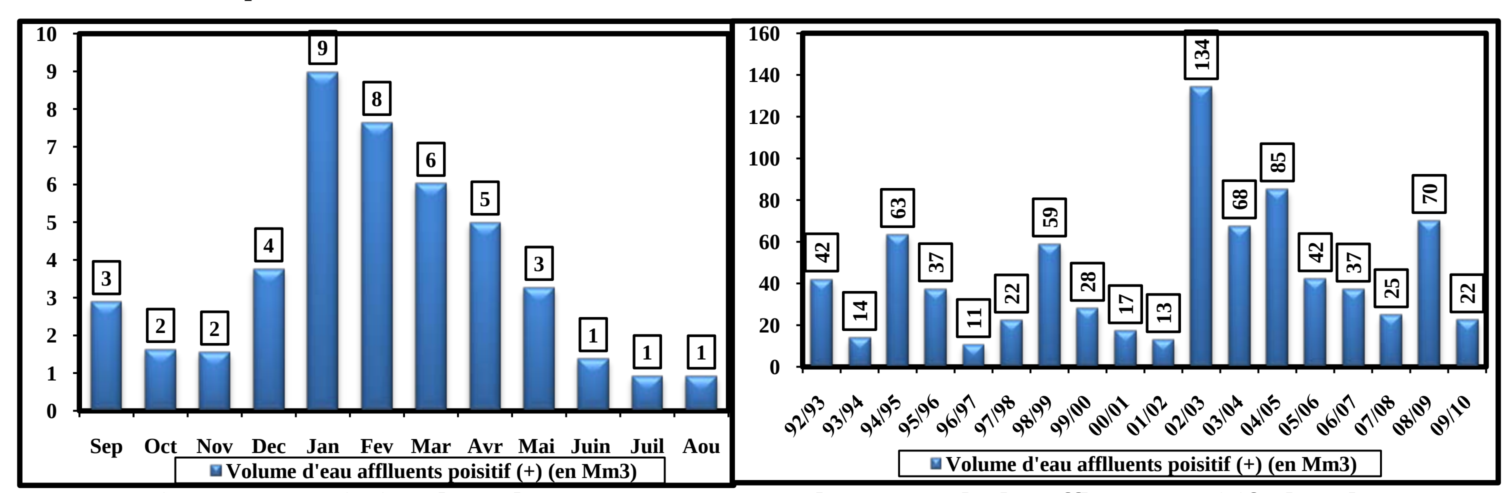


Figure.53: Variation des volumes moyens mensuels et annuels des affluents positifs dans le Barrage de Ain Zada période (1988/2010 D'après l'ANBT).

3. 3. Capacité du barrage et précipitations moyennes annuelles :

Les histogrammes des variations des précipitations annuelles des deux stations pluviométriques, la station de Sétif qui localise au Nord du bassin versant qui est la zone la plus importante à l'alimentation du barrage, et la station de site du barrage de Ain zada représentent une bonne corrélation a celle des volumes moyennes annuelles des affluents positifs et de la cuvette du barrage de Ain zada (fig.54).

Elle est montrée que:

-les valeurs les plus importantes du taux de remplissage mentionnées précédemment correspondent aux années les plus pluvieuses telles que les deux piques durant toute cette période des années 92/93 et 03/04, alors que la faible pluviosité (sèche) synchronise avec l'année où la capacité a eu un abaissement critique (année 2001/2002).

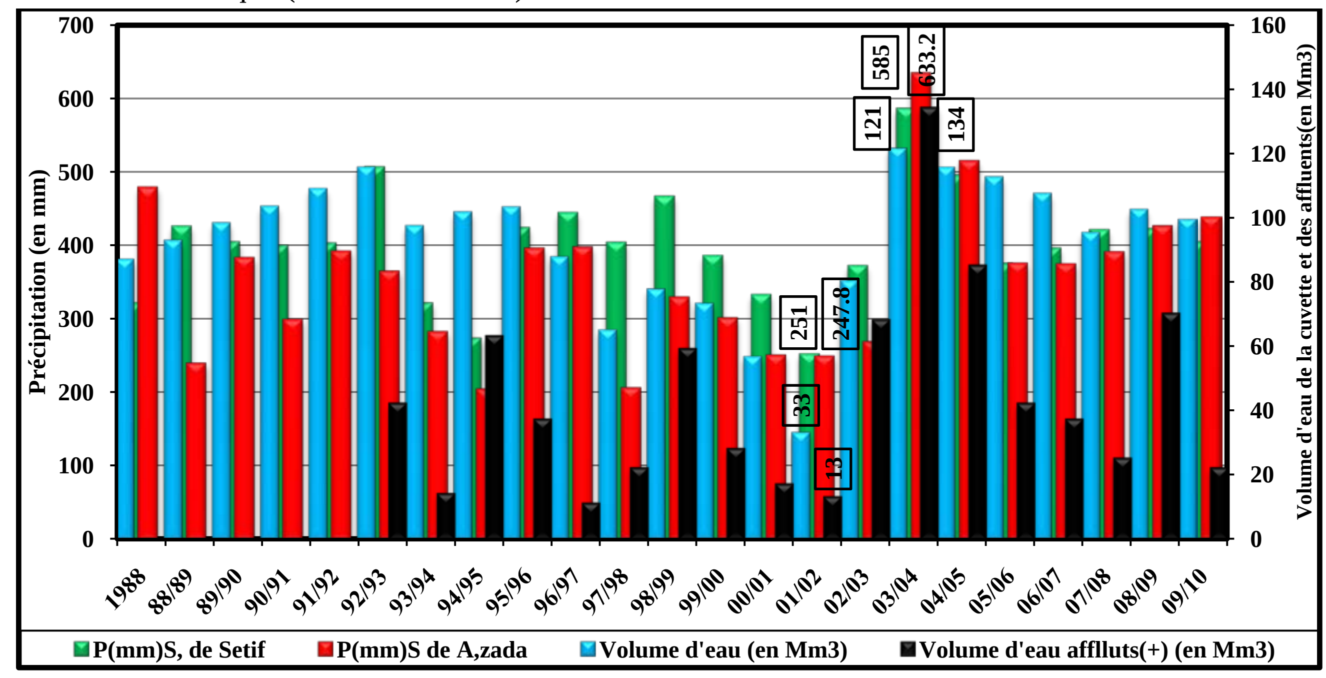


Figure 54: Variation moyenne annuelle des précipitations, et les volumes moyens annuels des affluents positifs et de l'eau dans le Barrage de Ain Zada période (1988/2010 D'après l'ANRH, l'ANBT et l'ONM)

3.4. Estimation du volume des affluant positif du barrage a partir de la lame d'eau précipité :

A partir du chapitre III précédent et l'étude hydroclimatologique du bassin versant de Boussellam amont, on a conclu que l'alimentation du barrage de Ain zada se fait beaucoup plus du coté nord du bassin (oued Boussellam) mieux que le coté sud c-a-d les affluents positifs du nord sot plus importants que ceux qui viennent du sud, et vue le manque des stations de jaugeage au niveau de oued Boussellam et dans tous le bassin, on estime le volume d'eau des affluents positif du barrage a partir des paramètres qui sont obtenus par les deux bilans hydrologiques des stations de Sétif qui se situent au milieu du bassin et, de Tixter qui est situé au sud du bassin(tableau.n 35 du chapitre III).

Pour estimer le volume moyenne annuelle des affluents positifs du barrage c-a-d le volume annuel entrant à la cuvette, on prend en considération deux volumes essentiels qui influent directement sur ce volume global qui sont :

*Volume annuel actuel rejeté de la station d'épuration de Sétif :**20000 m^3/jour X 365j = 7.3 Mm^3/an**

*La somme des volumes annuels emmagasinés par les six(06) retenues collinaires qui se trouvent dans le bassin versant de oued boussellam amont qui est de l'ordre de **3.5 Mm^3/an** ,Les résultats obtenus tableau n.36 .

Tableau.n.36 : Estimation du volume annuel entrant à la cuvette du barrage a partir des précipitations mesurée des stations de Sétif et Tixter

Stations	Période	précipitations (mm/an)	Ruissellement calculée (mm/an)	Superficie du sous bassin (Km^2)	Volumes d'eau ruisselée Calculé (en Mm^3/an)
Sétif	1981-2010	**401,60**	**32,23**	**1100 Km^2**	**35.5 Mm^3/an**
Tixter	1981-2009	**237,06**	**6,26**	**685 Km^2**	**4.5 Mm^3/an**
Total du bassin versant				**1785 Km^2**	**40 Mm^3/an………(A)**
+					
Volume annuel actuel rejeté de la station d'épuration de Sétif				**20000m^3/jour X365j**	**7.3Mm^3/an……(B)**
–					
Volume annuel emmagasiné par les retenues collinaires du bassin				**3.5 Mm^3/an………………………….(C)**	
=					
Volume moyenne annuelle des affluents positifs du barrage calculé					**A + B - C = 43.8 Mm^3/an**
≈					
Volume moyenne annuelle des affluents positifs du barrage mesuré sur la cuvette du barrage de Ain zada D'après l'ANBT					**43.95 Mm^3/an**

On conclue que les résultats obtenus par les calculs des bilans hydrologiques du chapitre III hydroclimatologique précédant sont conformes à celle qui est mesurées sur terrain par les services concernés.

3. 5. Pertes par évaporation :

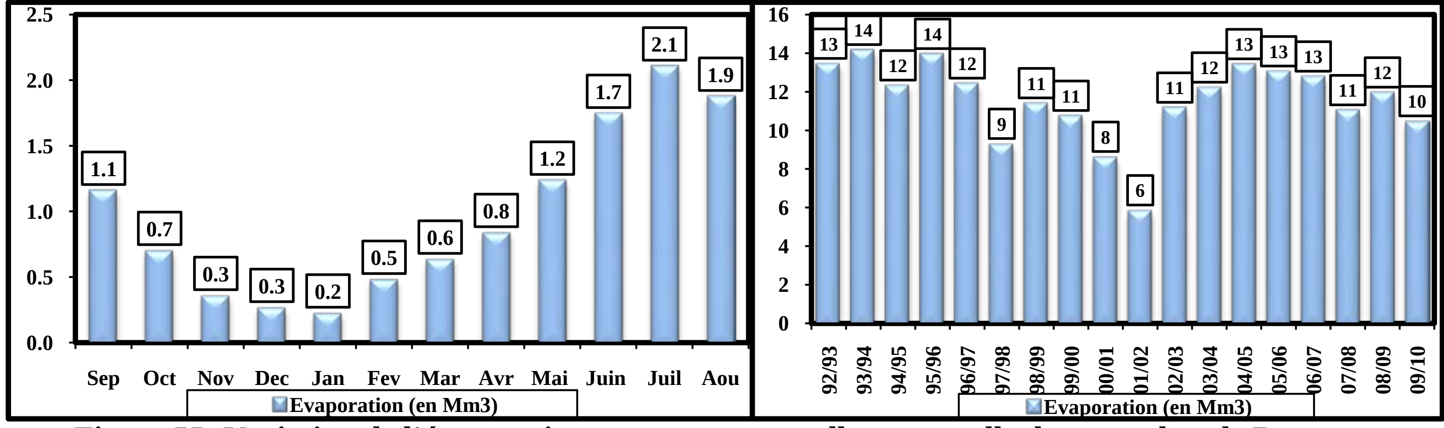


Figure 55: Variation de l'évaporation moyenne mensuelle et annuelle des eaux dans le Barrage de Ain Zada période (1988/2010 D'après l'ANBT)

Vue la grande surface d'eau qui occupe le barrage qui peut atteint une surface (PHE) de 1920 hectares (cote maximale) et la faible profondeur de 26 d'eau , et Dans les conditions climatiques semi-arides de la région, étant donné que ce plan d'eau de la retenue est soumis aux radiations solaires, les pertes d'eau par évaporation dans le barrage peuvent atteindre des valeurs très importantes, elle est de 14Mm^3/an en moyenne enregistrée pendant l'année 93/94 et les plus importantes pertes s'effectuent pendant les mois d'été surtout au mois de juillet atteint 2.1Mm^3 (fig. 54).

Alors que la faible valeur de l'évaporation est de 6Mm^3/an en moyenne enregistrée pendant l'année la plus sèche durant cette période d'étude 01/02, et les plus faibles pertes au cour de ces séries des années sont observées pendant les mois d'hiver elle sont de 0.2Mm^3 en moyenne enregistrée au mois de janvier. D'une manière générale la moyenne annuelle des pertes d'eau par évaporation dans le barrage de Ain zada durant cette période d'observation est de 11.44Mm^3/an.

3. 6. Volumes régularisés (AEP) :

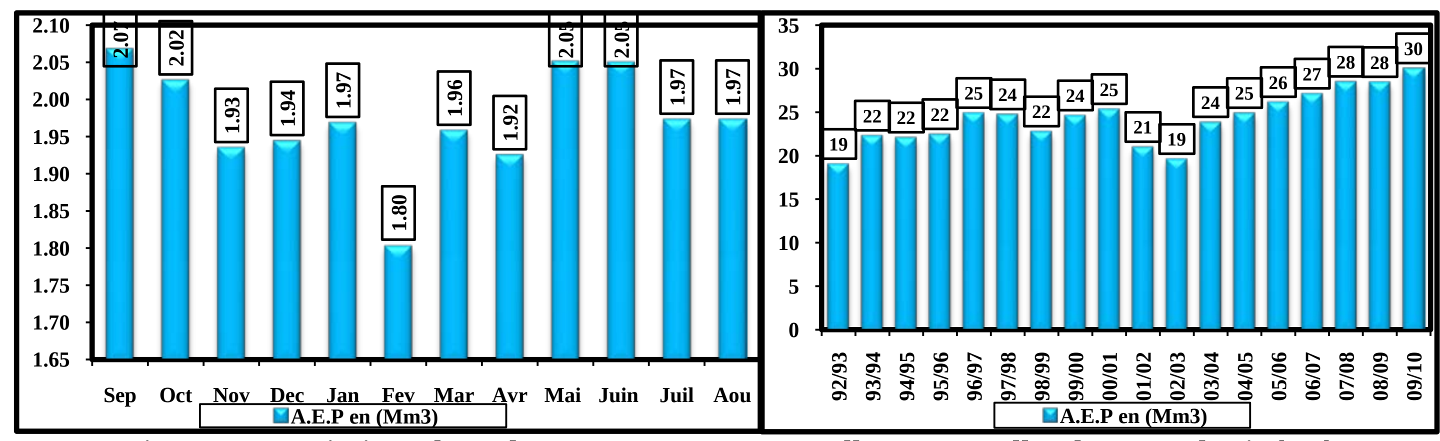


Figure 56: Variations des volumes moyennes mensuelles et annuelles des eaux destinées à l'AEP de l'eau le Barrage de Ain Zada période (1988/2010 D'après l'ANBT)

Le volume régularisé annuel du barrage est destiné principalement à l'alimentation en eau potable des grandes villes des hauts plateaux tels que : Sétif, Bordj Bou-Arreridj, El-Eulma et Bougaa ou leur besoin en eau potable dépassé les 2Mm^3 par mois, elle est de 2.07 Mm^{3}au mois de Septembre, et la valeur minimale est de 1.8Mm^3 enregistrée au moi de février (fig. 56).

Les demandes annuelles de ses villes en eaux potable sont très importantes ses dernières années dues à l'accroissement démographiques de ces villes et même au développement culturel et industriel elle dépasse 30 Mm^3 pour l'année 2010, alors que le plus faible volume annuel en eau potable pour ces villes est marqué pendant l'année 02/03due à l'utilisation directe des eaux de précipitations (Fig.56).

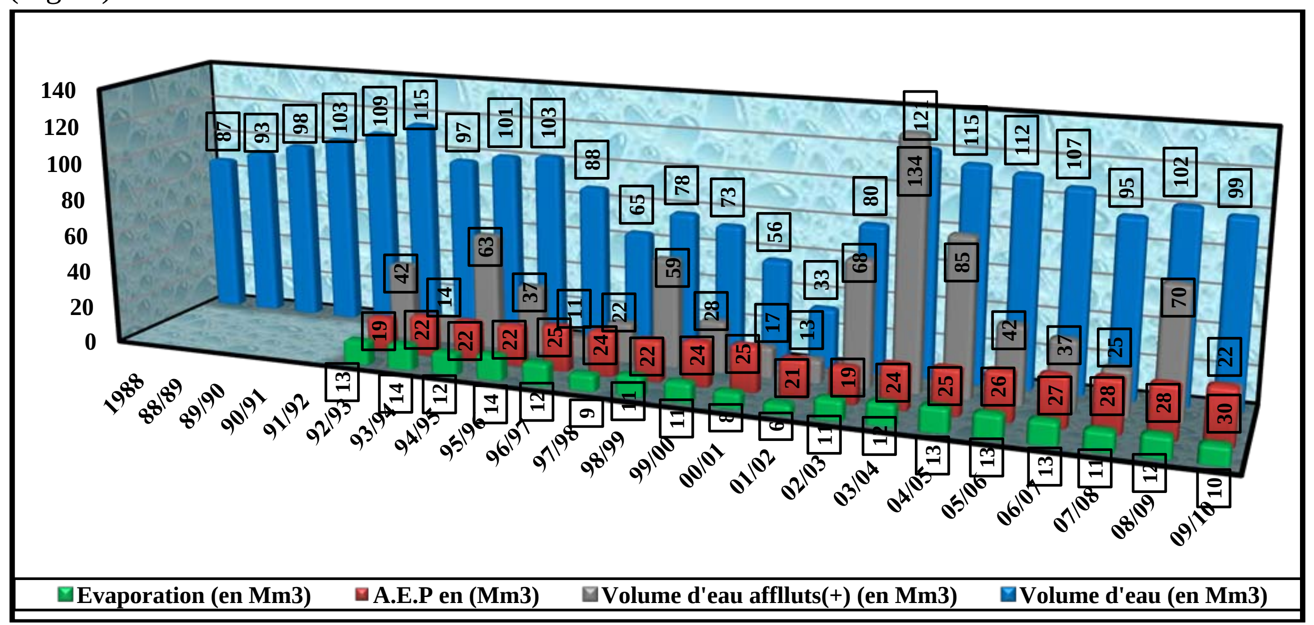


Fig N°57: Histogramme des variations de l'évaporation annuelle, des volumes annuels des eaux destinées a l'AEP et de la capacité du barrage de Ain zada période (**88/10 D'après l'ANBT et l'ADE)**

La relation de proportionnalité entre les éléments du bilan hydraulique (apport-capacité) et les paramètres climatiques (précipitations et évaporation), L'irrégularité de remplissage de la retenue est liée à plusieurs paramètres, dont les plus importants sont l'apport moyenne annuelle (lié directement aux précipitations) , les pertes dans la cuvette du barrage de Ain zada sont liées directement au évaporation qui est très importante surtout au mois chaud elle est de moyenne de 2Mm^3 (Fig.57) alors que les phénomènes de fuites ayant apparu de façon nette dans ce barrage.

4. L'envasement de la retenue et levé Bathymétrique du barrage de Ain zada :

Les résultats des travaux effectués sur le terrain ainsi que leur traitement permettront à l'ANB de suivre l'évolution du niveau d'envasement de la retenue et de gérer de manière rationnelle et précise la capacité de la retenue, Pour aboutir à ce résultat le groupement **LEM/GEOID** a effectué un levé topographique terrestre qui a concerné une surface de 863.3 Hectares et un levé bathymétrique, d'une surface de 1061.1 Ha, a été effectué en Avril et Mai 2004.

La superficie globale levée, qui a nécessité la détermination de 55 690 points, est donc de 1924.4 Ha, répartie entre environ 45% en levé terrestre et 55% en levé bathymétrique.

La capacité du barrage depuis sa mise en eau a perdu à la date de mai 2004 un volume de l'ordre de 3,60 Mm^3 soit environ 2,88 % de sa capacité initiale qui a était de 125 Mm^3 en l'an 1985. Cela correspond à une perte moyenne par an de l'ordre de 189 400 m^3/an

4.1. Courbe de capacité :

Si l'on prend pour référence l'année de mise en eau du barrage de 1985, nous pouvons affirmer que sa capacité a été réduite de 3,60 Mm^3 ce qui correspond à un pourcentage de perte de 2.88 %.
L'évolution de la perte de capacité de la retenue du barrage de Ain zada à la RN (855.00 m) est donc résumée comme suit :

Paramètres / période	1985 (mise en service)	2004 (source LEM/GEOID)
Capacité (Mm^3)	**125 Mm^3**	**121.40 Mm^3**
Perte par rapport à la mise en service Mm^3	//	**3.60 Mm^3**
% de perte	//	**2.88 %**

Soit une valeur moyenne annuelle de perte en capacité de l'année 1985 jusqu'à l'année 2004 de l'ordre de 189400 m^3 par an.

4.2. Comparaison des courbes :

L'allure générale de la courbe de capacité ci-dessous n'indique aucune particularité due à un quelconque accident remarquable du relief.

L'augmentation du volume est assez rapide jusqu'à la côte 838.00 m. Au-delà l'augmentation successive évolue de 47 % environ pour terminer à 16 % à 864 m (20 cm avant la PHE) en tenant compte pour le calcul, un pas de calcul de 2 m.

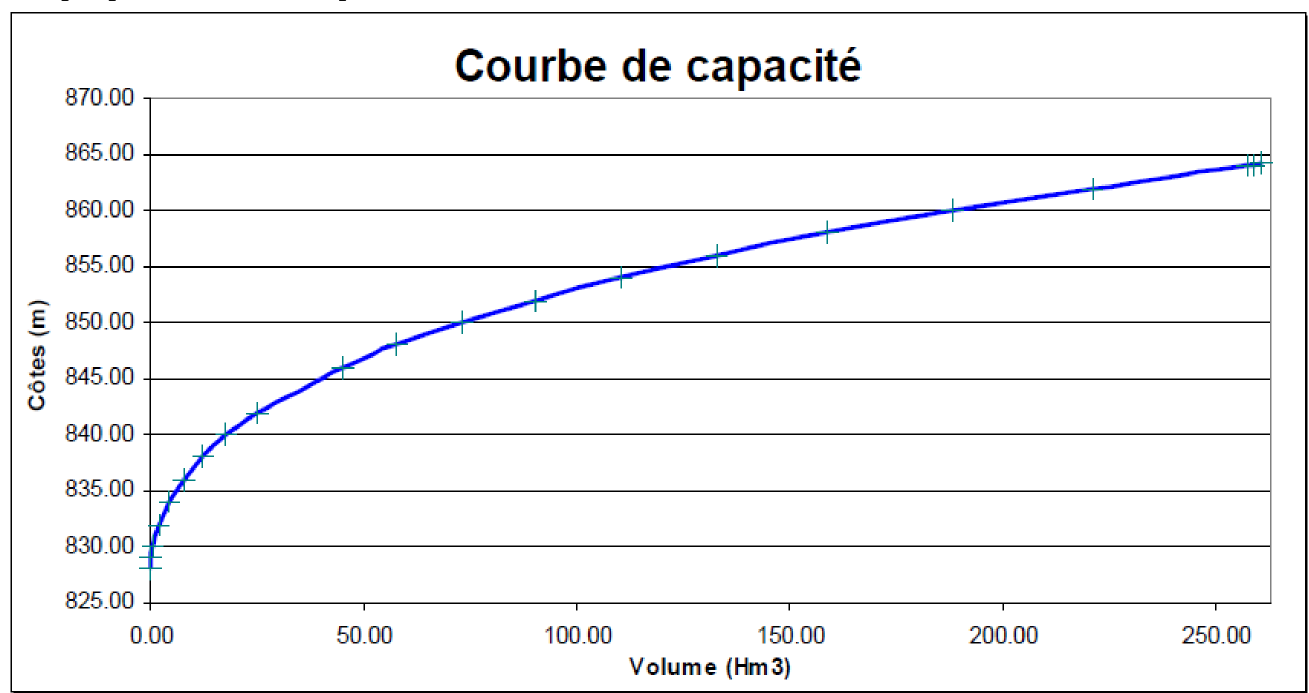


Fig.58:Courbe de capacité du barrage de Ain Zada (d'après le groupement LEM/GEOID en 2004)

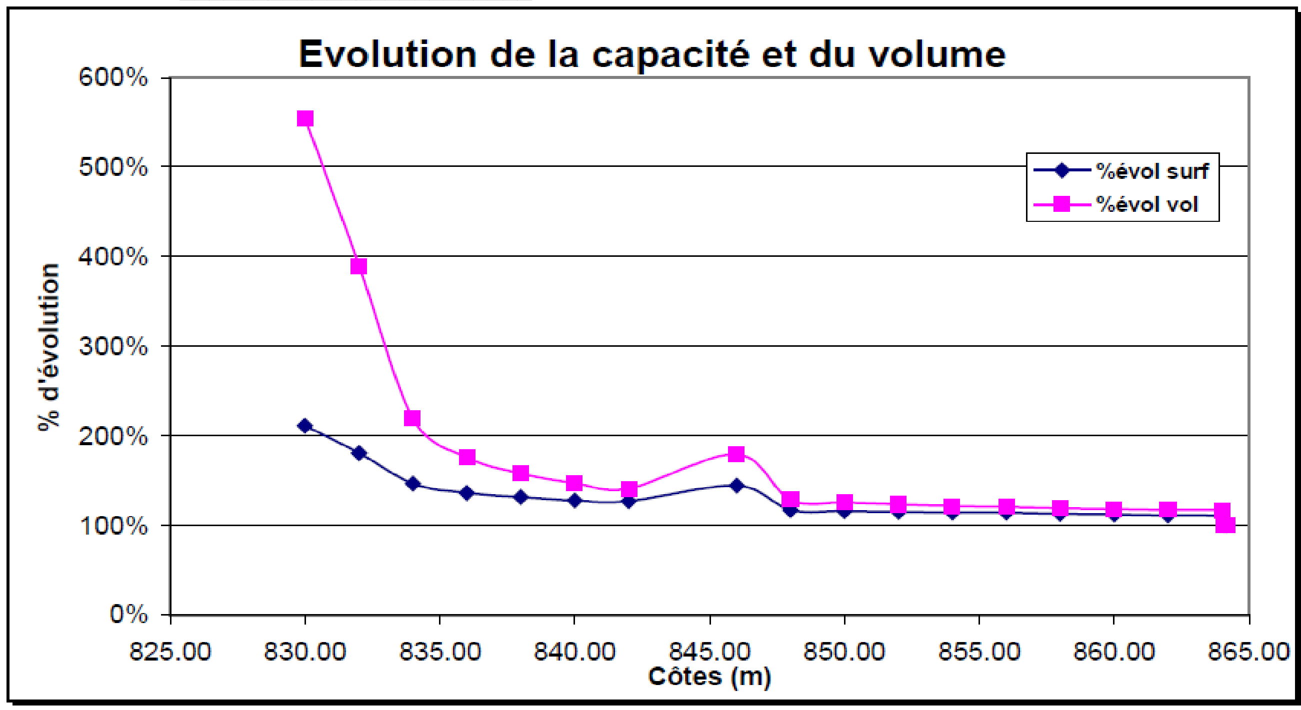


Fig. 59:Evolution de la capacité et du volume du barrage de Ain Zada (d'après le groupement LEM/GEOID en 2004)

Si l'allure de la courbe de capacité n'indique aucune particularité, il n'en demeure pas moins que l'analyse plus détaillé de l'évolution successive de la superficie et du volume indique qu'à la côte de 846.00 m, l'augmentation successive des 2 paramètres est plus importante. La figure ci-dessus (fig.59) établie par le groupement LEM/GEOID en 2004) exprime plus clairement cette affirmation. Alors que pour le reste des altitudes et l'augmentation successive sont réduites en allant vers la RN et la PHE, à la côte de 846.00 m nous observons un pic qui coïncide pour les 2 courbes d'évolution du volume et de la capacité de la cuvette. L'une des explications de cette brutale augmentation vient du fait que l'isobathe 846.00 m apparaissent en queue de barrage (en partie amont) alors que ce n'est pas le cas pour l'isobathe 842.00 m.

Conclusion :

On conclusion, plus les paramètres hydrologiques de la cuvette du barrage durant toute les années de la période d'étude qui sont coïncides et conformes avec les paramètres hydrologiques calculés a partir des bilans hydrologiques du chapitre III précédant, le résultat principal obtenu à partir de cette étude bathymétrique du barrage de Ain zada qui effectue en Avril 2004 par le groupement LEM/GEOID, est l'estimation de la capacité et de la superficie à la PHE et à la RN.

Elles sont comme suit :

- La superficie actuelle du barrage à la retenue normale (855.00 m) est de 1140.67 ha.
- La superficie actuelle du barrage à la PHE (864.20 m) est de 1919.97 ha.
- La capacité actuelle du barrage à la retenue normale (855.00 m) est de 121.40 Mm^3.
- La capacité actuelle du barrage à la PHE (864.20 m) est de 261.20 Mm^3.

CHAPITRE:V

Etude Hydrochimique

CHAPITRE:V

Etude Hydrochimique

Introduction:

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, par conséquent, son attribution pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages : irrigation, industrie…etc, (Debieche, 2002).

L'une des utilisations classiques de l'hydrochimie concerne l'obtention des informations concernant la qualité d'une eau et l'origine de son chimisme (El Asslouj et al., 2007). La genèse des éléments chimiques des eaux varie à travers les réactions avec l'environnement et de ce fait, leurs qualités peuvent conduire à des informations sur les environnements dans les quels les eaux auraient circulé.

Par ailleurs, on peut ranger dans l'hydrochimie les techniques et protocoles d'échantillonnage des eaux, l'étude de la pollution des milieux aquatiques et de nombreuses autres applications, qui sont devenues des sciences à part entière au vu de leur complexité.

L'hydrochimie rencontre plusieurs applications, tels que :

- l'origine d'une eau et de sa qualité ;
- le suivi de sa qualité (respect des normes de l'OMS et des rejets) ;
- la détermination des flux par traçage naturel (étude des solutés et/ou des isotopes) ou artificiels ;
- la prospection minière (étude des métaux marqueurs des gisements traversés par l'eau) ;
- l'étude du cycle de l'eau et la paléoclimatologie (notamment par l'étude de la teneur en isotopes).

Cependant, la caractérisation de la composition de l'eau fait appel à différents procédés tels que :

- l'analyse chimique élémentaire: elle détermine en général la composition en éléments dissous d'une eau (concentration massique des différents solutés) traduite sous forme de teneurs en ions pour les éléments majeurs et exprimées habituellement en mg/l.
- les méthodes physico-chimiques: les analyses initialement faite avec des réactions chimiques (dosages) élément par élément, sont maintenant faites avec des méthodes physiques ou physico-chimiques. Par exemple, la chromatographie liquide haute pression (anions majeurs), la spectrométrie de flamme (cations majeurs), la spectrométrie de masse (isotopes de l'oxygène et de l'hydrogène en particulier), torche à plasma (analyse des éléments en traces), analyseurs de carbone (carbone organique/carbone inorganique) et les électrodes pour le pH et différents ions.

Notons que le chimisme des eaux naturel dépend essentiellement de la composition géologique des milieux traversés et du temps de séjour. Il est principalement régi par les équilibres calco-carboniques (Ca^{2+},HCO_3^-) auxquels viennent se greffer des éléments de provenance alluvial (Mg^{2+}, Na^+, K^+ et Cl^-) et des éléments d'origine biologique (NO_3^-, NO_2^- et NH_4^+).

L'objet de ce chapitre, concerne :

- La détermination de la qualité des eaux de surface de la cuvette de barrage de Ain zada et le suivi des variations spatio-temporelles de leurs paramètres physico-chimiques en déterminant les différents apports anthropiques en plus de la pollution de surface, afin d'expliquer l'origine et l'évolution de chaque élément.
- L'évaluation et la quantification de la pollution et de l'impact de tous les rejets directs (domestiques et industriels) sans traitement préalable dans les cours d'eau qui alimente le barrage. Cette qualité se trouve souvent influencée par l'effet de la dissolution des formations géologiques, les rejets industriels ou domestiques et l'activité agricole.

1. Données d'analyse de la qualité des eaux du barrage de Ain Zada :

Pour un ouvrage hydraulique destiné à l'alimentation en eau potable des villes, le premier souci reste la qualité des eaux stockées au niveau du barrage. L'analyse hydrochimique et bactériologique qui constitue la partie principale de notre travail est basée sur les analyses effectuées au niveau des eaux du barrage de Ain zada qui faite par le service étatique concerné qui est l'Agence National des Ressources Hydraulique, direction régionale de Constantine (A.N.R.H).

La surveillance de la qualité des eaux du barrage de Ain Zada est mensuelle au niveau d'un point de prélèvement fixe, situant au sein des eaux de surface de la retenue. L'objectif, c'est de suivre l'évolution de la qualité des eaux du barrage en fonction de la variation de la pluviométrie et en fonction du temps. La série s'étale sur une période d'observation de 23 ans (1988-2010).

Cette étude de la qualité des eaux superficielles de la cuvette du barrage de Ain zada est basée sur des groupes de paramètres de même nature ou de même effet permettant de décrire les types de dégradation de la qualité de l'eau appelés altérations. Selon l'A.N.R.H les plus importantes altérations sont au nombre de quatre (4), dont l'influence de la pollution est nettement traduite sur ces composantes.

Parmi les paramètres chimiques généralement étudiés, on site :

A- Paramètres physico-chimiques mesurés *in situ* :

- La température (T°).
- Le potentiel d'Hydrogène (pH).
- L'oxygène dissous (O_2 dissous).
- La conductivité électrique (CE).
- La matière en suspension (MES).
- La turbidité (NTU).
- Résidu sec à 105°C (RS).

B - Les éléments majeurs :

- Les cations : Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^{+}, Na^{+}.
- Les anions: HCO_3^{-}, SO_4^{-2}, Cl^{-}, NO_3^{-}.

C- Les éléments de pollution:

- Les nutriments : DBO_5, DCO.
- Les éléments nutritifs : NO_3^{-}, NO_2^{-}, NH_4^{+}, PO_4^{3-}
- Les éléments en traces métalliques (ETM) : Zn^{+2}, Fe^{+2}, Mn^{+2}, Cu^{+2}, Pb^{2+}.

Pour bien interpréter ces analyses, on utilise les courbes, les histogrammes et les diagrammes qui peuvent mettre en évidence l'évolution des différents éléments chimiques et leurs origines.

2. Contrôle des résultats d'analyses :

Les conditions de prélèvement et de transport sont faites par les services de l'agence concernée (ANRH), à partir des résultats d'analyses, la première lecture sur les paramètres physico-chimiques montrent une grande variation des concentrations et dépassent les normes de potabilité dans certains mois.

Afin de bien montrer et comprendre ces variations, deux représentations des données ont été réalisées:

- L'une statistique : montrant les valeurs maximales, moyennes, minimales et les écarts types.
- L'autre graphique qui précise l'évolution des teneurs de chaque élément sur les différentes stations dans le temps.

3. Détermination des apports :

3.1. Les apports anthropiques :

Vu la forte activité urbaine, industrielle et agricole qui se développe dans la zone d'étude, plusieurs apports de contaminations ont été détectées: l'une d'origine anthropique due aux rejets directs d'eaux usées domestique et industriel, au stockage des produits industriels et à l'utilisation des produits chimiques dans l'agriculture (engrais et pesticides).

L'autre à une origine naturelle dû aux retombées atmosphériques qui favorise le lessivage des formations géologiques (Sels ; formations gypseuse).

L'ensemble de ces apports induit une pollution chimique provoquée par l'augmentation de la concentration des éléments chimiques dans les eaux superficielles, tels que: les paramètres physico-chimiques majeurs (Na^{2+}, Ca^{2+}, Mg^{2+},…..), les nutriments (NO_3^-, NH_4^+, Cl^-, SO_4^{2-}, DCO et DBO_5). Ce qui conduit à une dégradation de la qualité des eaux de la cuvette du barrage.

3.1.1. Les Rejets d'eaux usées

Deux types sont distingués :

a-Urbains : ils sont liés aux rejets domestiques des agglomérations par les réseaux d'assainissement sans aucune épuration préalable tel que la ville de Ain Taghrout, Guellal et Mezloug. Ces apports sont caractérisés par de fortes teneurs en ammonium, en phosphate, en chlorure et en sulfates. Les conséquences de ce rejet, sont de rendre le milieu réducteur et cela par la consommation d'oxygène par les bactéries réductrices.

b-Industriels : ils sont représentés principalement par les rejets des usines de la zone industrielle de Sétif et sont caractérisés par une grande diversité de la composition chimique et de métaux lourds tels que : fer, manganèse et plomb.

Ces deux rejets (industriels et urbains) représentent un danger majeur sur la qualité des eaux de l'oued Boussellam et du barrage de Ain zada, vu les fortes concentrations en polluants chimiques ainsi que le débit élevé des rejets.

3.1.2. L'agriculture

Son influence apparaît par l'effet de l'utilisation intensive des produits fertilisants chimiques ou organiques (engrais minéraux et déjections animales), ainsi que les pesticides (insecticides, fongicides, acaricides et herbicides) sur les terrains perméables. Ces derniers permettent une infiltration/ruissellement directe de la forme azotée (nitrates, nitrites, ammonium, phosphates, etc….) vers les oueds qui aliment le barrage.

3.2. Les apports naturels

Jouent un rôle principal dans l'acquisition des éléments chimiques par les eaux et par la dissolution des formations géologiques. Le danger de ce processus apparaît lorsque les concentrations de ces éléments dépassent les limites de potabilité. Par exemple, au niveau de notre zone d'étude, deux origines naturelles sont responsables de l'augmentation de la concentration de ces éléments chimiques :

a- La dissolution des formations évaporitiques du Trias : l'existence des lentilles de sel, des lentilles gypseuses et salifères au niveau de la zone d'étude purement géologique sur tout l'affleurement du Guellal, favorise une dissolution rapide des éléments évaporitiques (Na^+, Cl^-, Ca^{2+} et SO_4^{2-}). Ces derniers ont produit une augmentation importante de la salinité et de la conductivité électrique des eaux du barrage.

b. La variation des conditions d'oxydoréduction : son effet apparaît surtout sur l'évolution des métaux (Fe, Mn, Zn,…) sensibles aux variations du Eh, par l'apparition ou la disparition de certains éléments chimiques

4. Résultats des mesures et des analyses chimiques de l'eau :

4.1/ Les paramètres physico-chimiques (mesure in situ) :

Il s'agit des paramètres mesurés sur le site, pouvant donner les premières indications sur la qualité des eaux :

4.1.1-La Température (T) :

La température de l'eau du barrage de Ain zada qui caractérise par une large surface et faible profondeur, dépend des échanges thermiques avec l'air ambiant et du rayonnement solaire. La température influence des paramètres comme l'oxygène, la conductivité, la solubilité de différentes substances, etc.…

D'autre part, la température joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air) des saisons et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol.

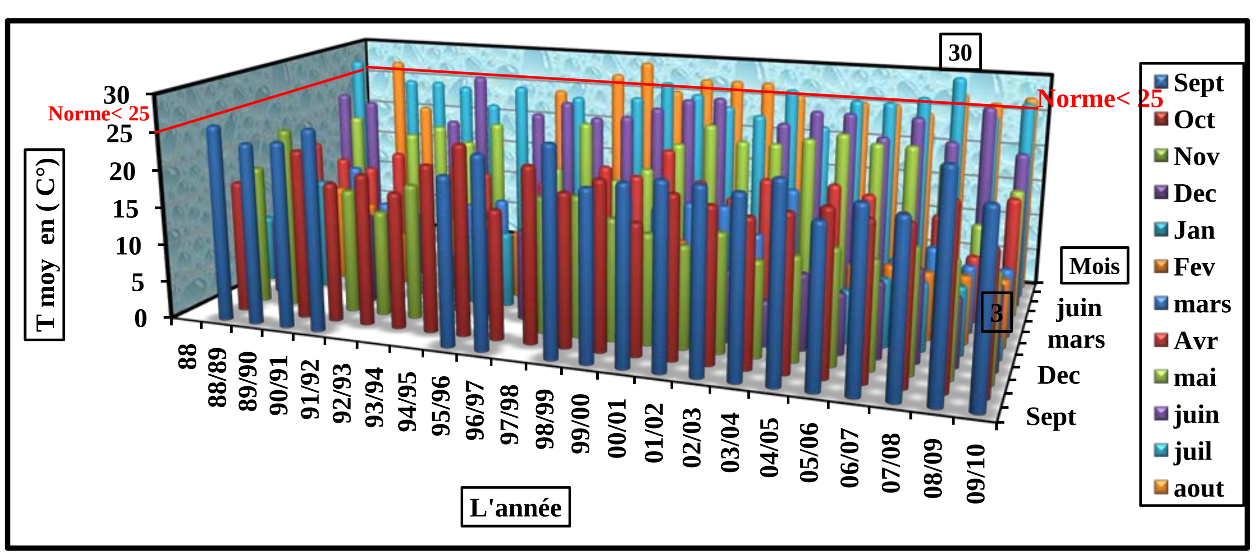


Fig. 60 : Variations des températures mensuelles de l'eau du barrage de Ain zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

L'histogramme des variations des températures mensuelles (Fig.60) montre que la température de l'eau prélevée du barrage de Ain zada durant toute la période de 1988-2010 varie entre 3 °C enregistrée au mois de Janvier 2010 et 30 °C marquée au mois de Juillet 2008, avec une température moyenne annuelle de 17 °C. Ces variations sont en relation directe avec la température de l'air et des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du sol par apport à la surface de l'eau du barrage. Notons aussi qu'à la sortie de la source thermale de Hammam Ouled Yelles (située à l'amont du barrage), la température est de l'ordre de 50 °C. L'eau est coulée directement dans l'oued, la température chute progressivement pour atteindre une valeur moyenne de 20°C au niveau de la cuvette du barrage. Et même notons que le prélèvement est effectué entre 08h 30 et 17h.

L'eau du barrage a une température donc normale. Elle joue un rôle important dans la composition chimique et l'activité bactérienne dans l'eau de la cuvette du barrage.

Selon les données de la station hydrométrique de Ain zada les températures ambiantes enregistrées durant toute cette période. La température de l'eau du barrage est principalement fonctionne de celle ambiante. Elle se rapproche de la température maximale de l'air ambiant pour les trois premiers trimestres.

Tableau. 37 : Température moyenne mensuelle ambiante et la température moyenne mensuelle de l'eau du barrage de Ain zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH).

	saison	Automne			hiver			printemps			été			*Moyenne En C°*
Station de Ain zada	*Température*	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
	T moy. Max	28,90	22,45	17,05	12,20	12,34	13,31	15,66	18,35	24,82	30,10	33,61	32,94	**21,81**
	T moy(aire)	22,12	16,22	11,54	7,37	7,09	7,58	9,74	12,04	17,71	22,60	25,90	25,52	**15,45**
	T moy. Min	15,34	10,00	6,03	2,53	1,85	1,86	3,82	5,78	10,60	15,11	18,20	18,11	**9,10**
T moy de l'eau du barrage Ain zada		24,04	20,21	15,89	10,26	8,50	9,28	11,10	15,00	19,40	22,45	25,35	25,78	**17,27**
Normes < 25														

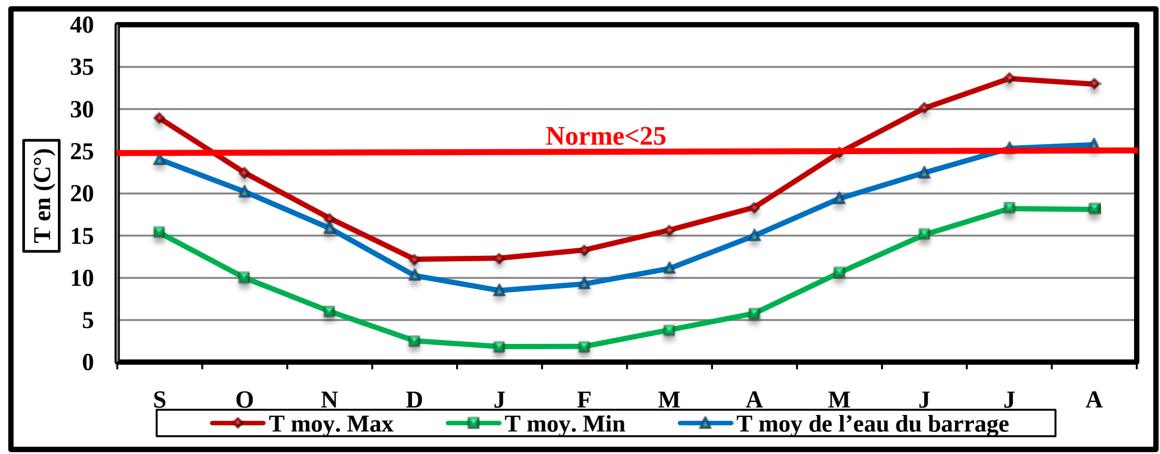


Fig. 61 : Variations de la température ambiante et la température de l'eau du barrage de Ain zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

La moyenne des températures de l'eau de la cuvette du barrage est de (17°C) traduise qu'elle est normale à bonne qualité. Les variations de la température ont des effets sur tous les paramètres physico-chimiques de l'eau et sur toutes les réactions chimiques et biochimiques de dégradations et de minéralisation des matières organiques.

Les réactions de dénitrifications cessent à 3 °C, elles reprennent à 5 °C et sont cinq fois supérieures à 20 °C quand les conditions d'oxygénation le permettent. (Martin, 1979).

L'augmentation de la température favorise également le développement d'algues (cas de notre barrage) et de végétaux aquatiques en liaison avec l'enrichissement du milieu en éléments nutritifs.

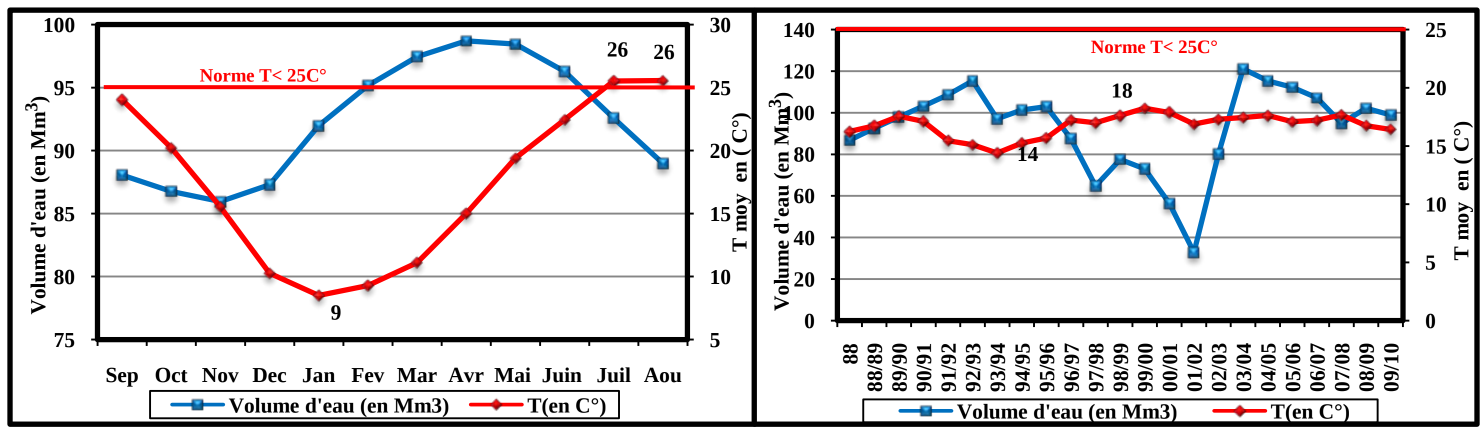


Fig. 62 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle de la température de l'eau sous l'effet du volume de l'eau dans le Barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

D'après ces graphies (Fig. 62), on remarque que la température de l'air influe directement sur la température de l'eau et aussi sur le volume des eaux du barrage. Cela est due à la grande surface qui est occupée par l'eau de la cuvette du barrage et de la faible profondeur, elle évolue inversement proportionnelle avec le volume globale de l'eau du barrage.

4.1.2. Potentiel d'Hydrogène (pH) :

Le pH permet de déterminer l'acidité de l'eau et la concentration en ions H^+. L'alcalinité mesure donc l'ensemble des substances susceptibles de réagir avec les ions hydrogène, en particulier, les ions carbonate et bicarbonate (Attaque ou dépôt).

Le pH est un facteur qui influence énormément la cinétiques des réactions chimiques (ammonification ; nitrification ; dénitrification). La dénitrification est complète lorsque le pH est supérieur à 7 avec une vitesse de réaction optimale au pH 8 à 10

Le pH de l'eau du barrage de Ain zada enregistré au niveau du prélèvement est plutôt alcalin, varie entre 6.83 enregistré au mois de Mai 2001 et 10 observé au mois de Décembre 1998 (Fig. 63), avec une moyenne de l'ordre de 8,16. Ce qui permet de classer ces eaux à la classe 1A (grille multi-usage, Masson, 1988), traduisant ainsi une qualité normale.

Tableau. 38 : Variation du pH des eaux du barrage de Ain zada (Période : 1988-2010)

Paramètres	Paramètres statistiques du Potentiel d'Hydrogène (pH)			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max	Moy	Min	Ecart type
	10	8.16	6.83	0.33
Normes	Norme de potabilité OMS : 6,5 – 8,5			

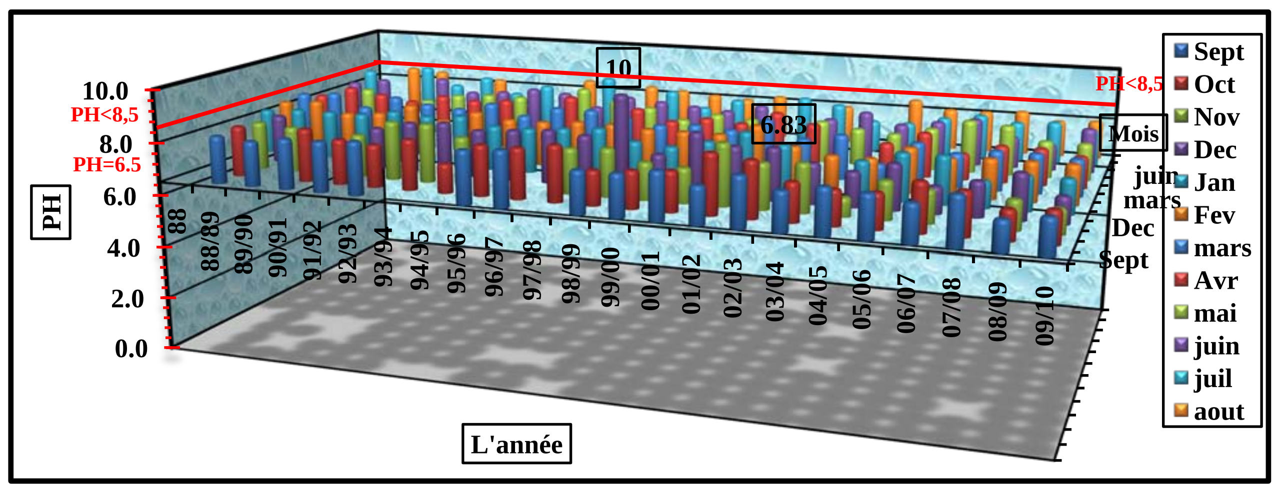
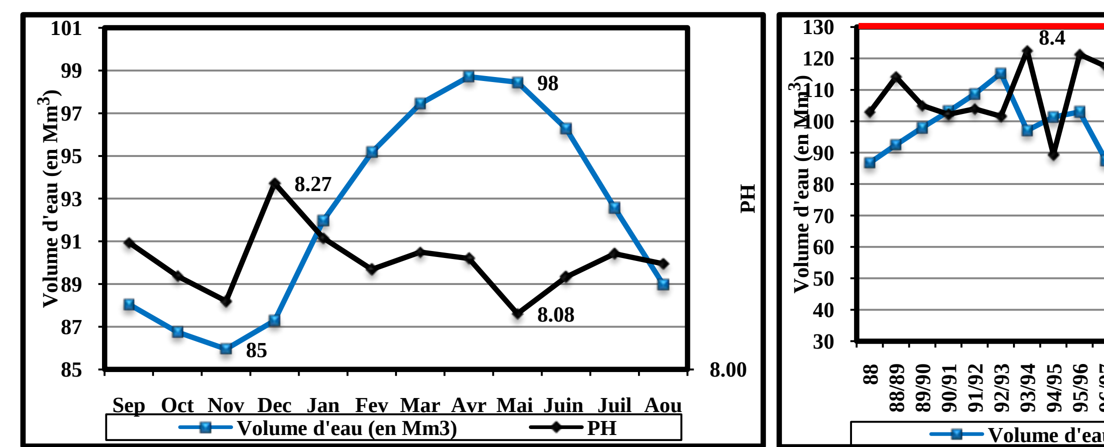


Fig. 63 : Variation mensuelle du pH des eaux du barrage de Ain zada (Période : 1988-2010)



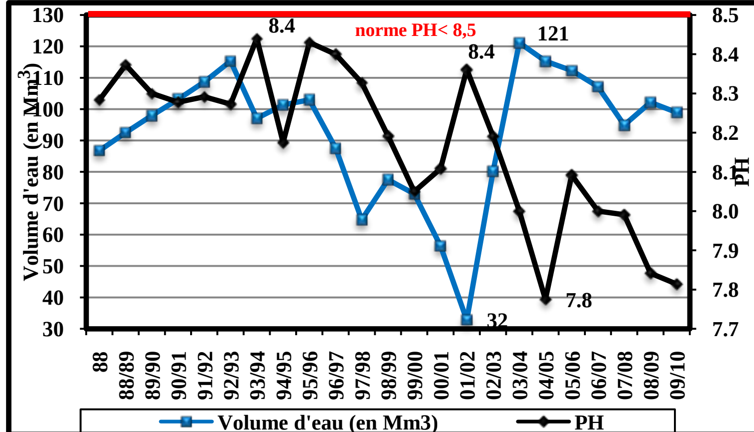


Fig. 64 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle du pH des eaux de la cuvette du barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

La figure 64, donne un aperçu sur les variations des moyennes mensuelles et annuelles du PH durant cette période d'étude. On remarque que la variation du pH n'est pas homogène mais elle est en fonction directe avec la nature de l'eau et son origine.

4.1.3. Conductivité Electrique (C.E) :

La conductivité de l'eau est sa capacité à conduire un courant électrique. Elle dépend à la fois de la quantité d'ions présents dans le milieu et des espèces ioniques (majeurs et mineurs) en solution. Sa mesure donne donc une estimation de la quantité de sels ionisables dissous: la salinité.

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement la minéralisation globale de l'eau (Rodier, 1984).

La conductivité électrique permet d'avoir une idée de la salinité de l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée.

Tab. 39 : Variation de la conductivité électrique des eaux du barrage de Ain zada (1988-2010)

Paramètres	Paramètres statistiques de La Conductivité Electrique (C.E)			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max (µS/cm)	Moy (µS/cm)	Min (µS/cm)	Ecart type
	1530	1031	700	196,81
Normes	Norme de potabilité OMS : 1500 µS/cm			

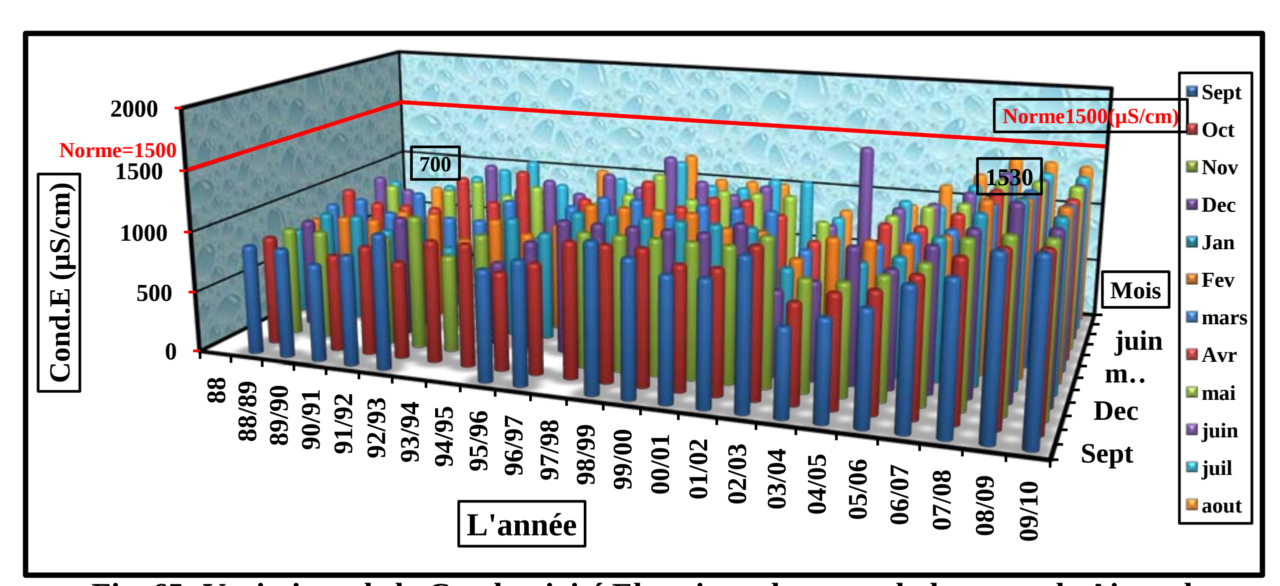


Fig. 65: Variations de la Conductivité Electrique des eaux du barrage de Ain zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

La conductivité des eaux du barrage de Ain zada mesurée durant la période (1988-2010) varie entre 700µS/cm et 1530 µS/cm. La valeur la plus élevée est enregistrée au mois d'Aout 1989 et la plus basse au mois de décembre 2008 (Fig.65), la moyenne est de l'ordre de 1031 µS/cm. Toutes les valeurs de la conductivité électrique mesurées dans l'eau du barrage dépassent la norme maximale admissible des eaux destinées à la consommation humaine référencée au standard qui est de 400 µS/cm. Cette augmentation indique une nette contamination de ces eaux et rend leur utilisation dangereuse pour la consommation humaine (AEP).

Notons aussi, les plus fortes valeurs ont été enregistrées pendant la période de basses eaux alors qu'en période de hautes eaux on à un phénomène de dilution qui apparaît.

D'une manière générale la conductivité électrique évolue relativement avec l'évaporation et inversement avec le volume global de l'eau dans le barrage (Fig.65 et 66). Elle augmente en période de basses eaux et les années sèches et diminuée en période des hautes eaux et les années humides c'est-à-dire quand le volume de l'eau augmente, la conductivité diminue, et vice versa (effet de la dilution). Si l'on se réfère à la grille de la qualité des eaux de rivières de l'Agence du Bassin Adour Garonne (Monod, 1989), la conductivité électrique est de qualité passable d'une valeur moyenne de 1031 µS/cm.

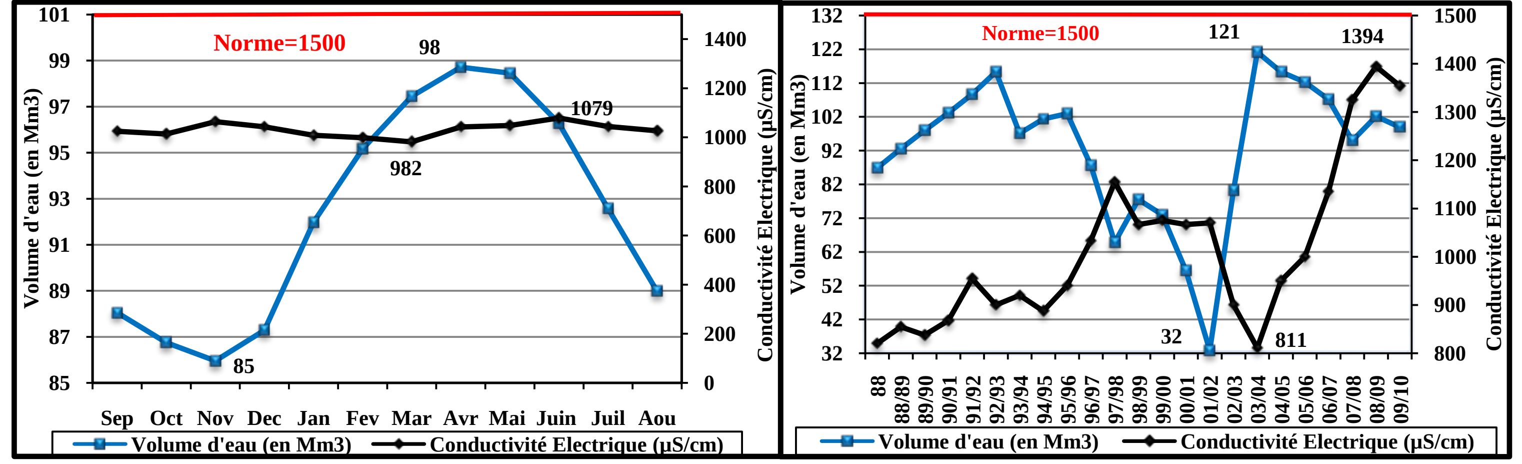


Fig. 66 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle de la Conductivité Electrique (µS/cm) sous l'effet du volume de l'eau dans le Barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

4.1.4. La turbidité (NTU) :

La turbidité se caractérise par un effet visuel est se traduit par des eaux trouble se qui empêche la pénétration de la lumière, elle est aussi liée à la transparence de l'eau.

D'après les résultats des série d'analyse sur les eaux de la cuvette du barrage de Ain zada, on remarque que l'eau de l'échantillon du mois de Mais 2009 est la plus trouble (elle a une turbidité de 16,8 NTU). Cela, s'explique par la présence des particules colloïdales en suspension d'argile et en matière organique diverse (sous l'effet des rejets industrielles et urbains). Alors la plus faible est de l'ordre de 0,3 NTU marquée au mois d'Aout 2002. En général, la turbidité des eaux du barrage de Ain zada est au moyenne de 3.12 NTU traduisant une bonne qualité.

Tableau. 40 : Variation de La turbidité des eaux du barrage de Ain zada (Période : 1988/2010)

Paramètres	**Paramètres statistiques de La turbidité(en NTU)**			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max NTU	Moy NTU	Min NTU	Ecart type
	16.8	3.12	0.3	2.83
Normes	Norme de potabilité Algérienne 5(*NTU)*			

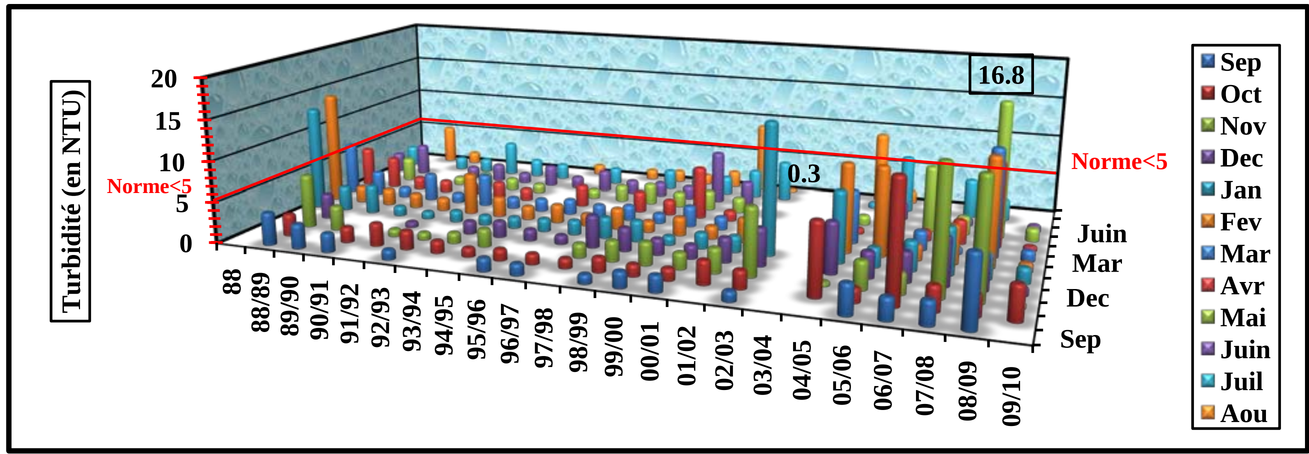


Fig. 67 : Variations de la turbidité (NTU) des eaux du barrage de Ain zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

Les graphes de l'évolution de la turbidité (Fig. 68), montrent que la turbidité des eaux du barrage de Ain zada évolue inversement proportionnelle avec le volume globale de l'eau du barrage. Elle augmente en période de basses eaux et des années sèche et diminués au période des hautes eaux et les années humides (phénomène de dilution).

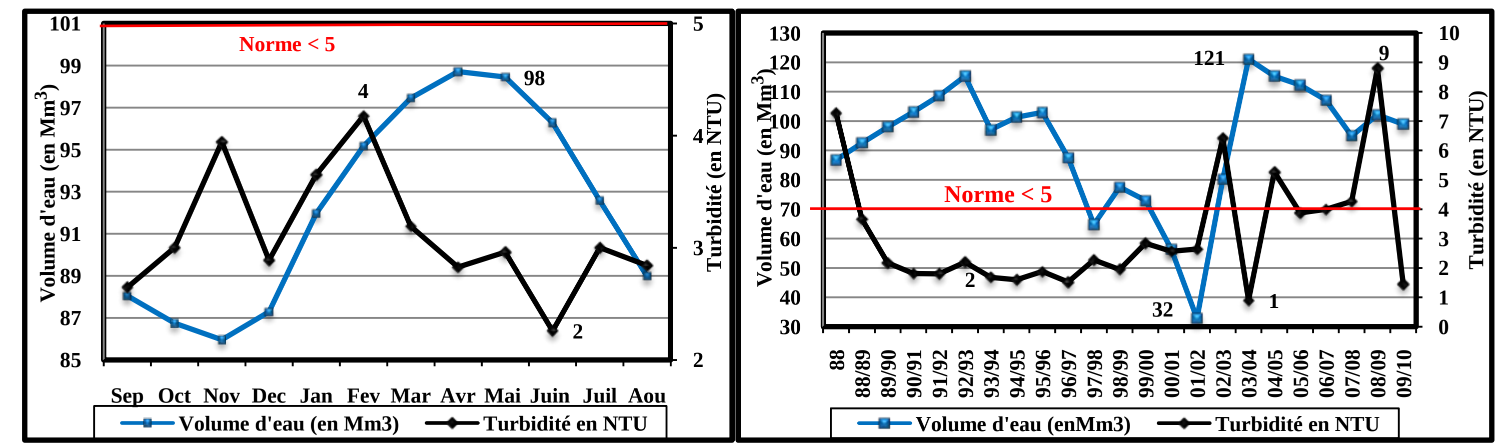


Fig. 68 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle de la Turbidité (NTU) sous l'effet du volume de l'eau dans le Barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

4.1.5. Matière en suspension :

Elles sont des substances non solubles qui troublent l'eau. Elles interviennent dans la composition de l'eau par leur effet d'échange d'ions ou leur adsorption aussi bien sur les éléments chimiques que sur les micro-organismes, (Pesson.P, 1980).

La détermination des matières en suspension est essentielle pour évaluer la répartition de la charge polluante entre pollution dissoute et pollution sédimentable, (Bontoux, 1983).

D'une manière générale les eaux de la cuvette du barrage de Ain zada sont troubles avec une turbidité qui dépasse 10 NTU et peut atteindre 17 NTU au mois de Mais 2009. Cette augmentation est due d'une part à la présence des particules en suspension (argiles…) avec des valeurs qui varie de 2 mg/l observé au mois d'octobre 1988 à 414 mg/l marqué au moi de février 1988. La moyenne est de 75,98 mg/l.

En se basant sur la grille multi-usage, les eaux étudiées se classent à la classe 3 traduisant une mauvaise qualité, (Fig.69) et d'autre part à la présence du fer et du manganèse.

Tab. 41 : Variation de la matière en suspension des eaux du barrage de Ain zada(1988-2010)

Paramètres	Paramètres statistiques de la Matière en suspension			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max (mg/L)	Moy (mg/L)	Min (mg/L)	Ecart type
	414	75.98	2	63
Normes	Norme de potabilité OMS : (30 mg/l)			

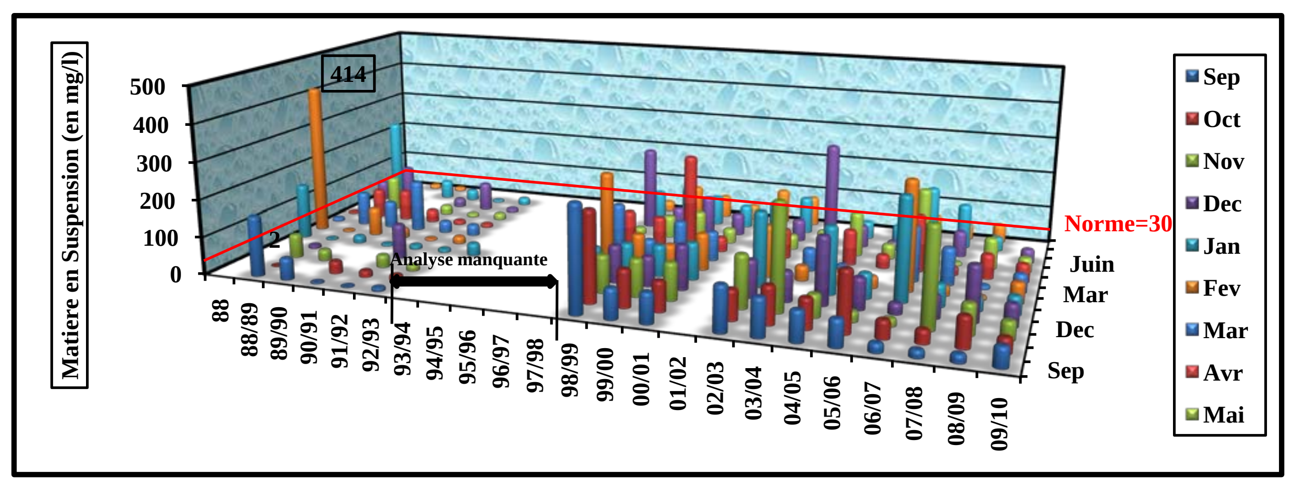


Fig. 69 : Variation de la matière en suspension des eaux du barrage de Ain zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

Les teneurs des Matières en suspension dans les eaux du barrage de Ain zada est toujours élevées, dépassent la norme et même hétérogène. Mais dans certaine période, elles évoluent inversement proportionnelle avec le volume globale de l'eau du barrage (Fig.70). Elles augmentent en période de basses eaux et des années sèche et diminués au période des hautes eaux et les années humides.

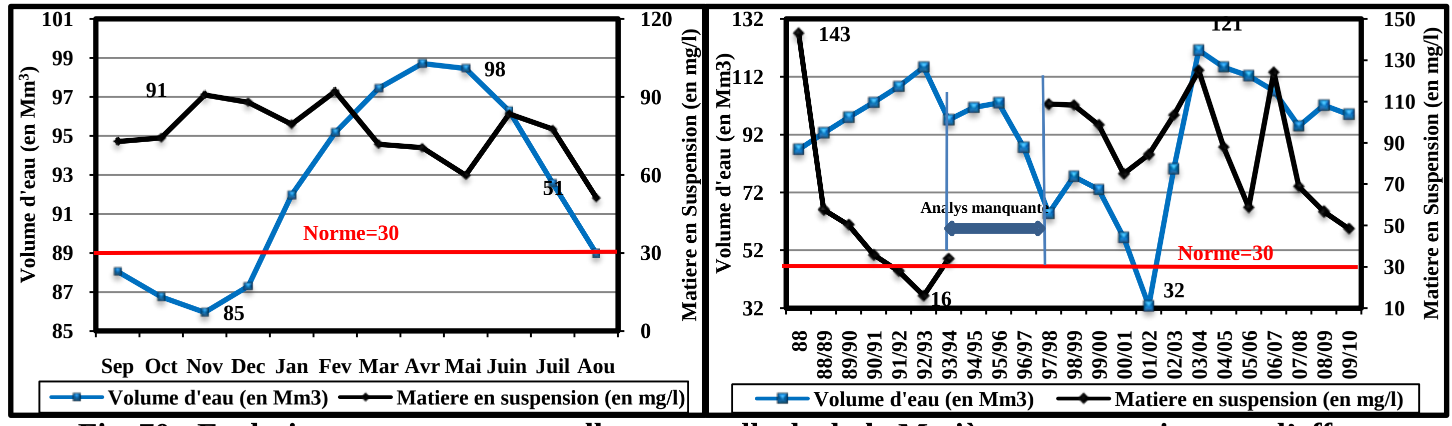


Fig. 70 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle de du la Matière en suspension sous l'effet du volume de l'eau dans le Barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

4.1.6. L'oxygène dissous :

L'oxygène est présent dans l'eau sous forme dissoute ou gazeuse. A une température et une pression donnée. Il existe une quantité maximale d'oxygène sous forme dissoute : c'est la teneur en O_2 pour laquelle l'eau est saturée à 100%. D'autre part, la présence de l'oxygène dans l'eau résulte d'une diffusion à partir de l'air au niveau de la surface et surtout de l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques, notamment des algues. C'est un indicateur important de pollution organique des eaux.

L'oxygène constitue un excellent indicateur du fonctionnement du plan d'eau à différents titres :

- Sur le plan physique (indicateur de pollution) : les matières minérales et organiques réduites sont oxydées biologiquement et font diminuer la concentration en O_2 dissous. Une eau appauvrie en O_2 peut à ce titre être considérée comme polluée.
- Sur le plan biologique : l'oxygène présent dans l'eau est vital aux organismes vivants. L'oxygène dissout provient en majeure partie de l'atmosphère. Une autre partie de l'oxygène est produite par les plantes aquatiques durant le jour car la nuit c'est le processus inverse qui se met en branle en produisant une consommation d'oxygène et une production de CO_2 par les plantes aquatiques.

Tableau. 42 : Variation de l'oxygène dissous (O_2) des eaux du barrage de Ain zada(1988-2010)

Paramètres	Paramètres statistiques de l'oxygène dissous O_2(en %)			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max (%)	Moy (%)	Min (%)	Ecart type
	136.6	84.27	9.3	18,48
Normes	Norme de potabilité OMS : 80-120 %			

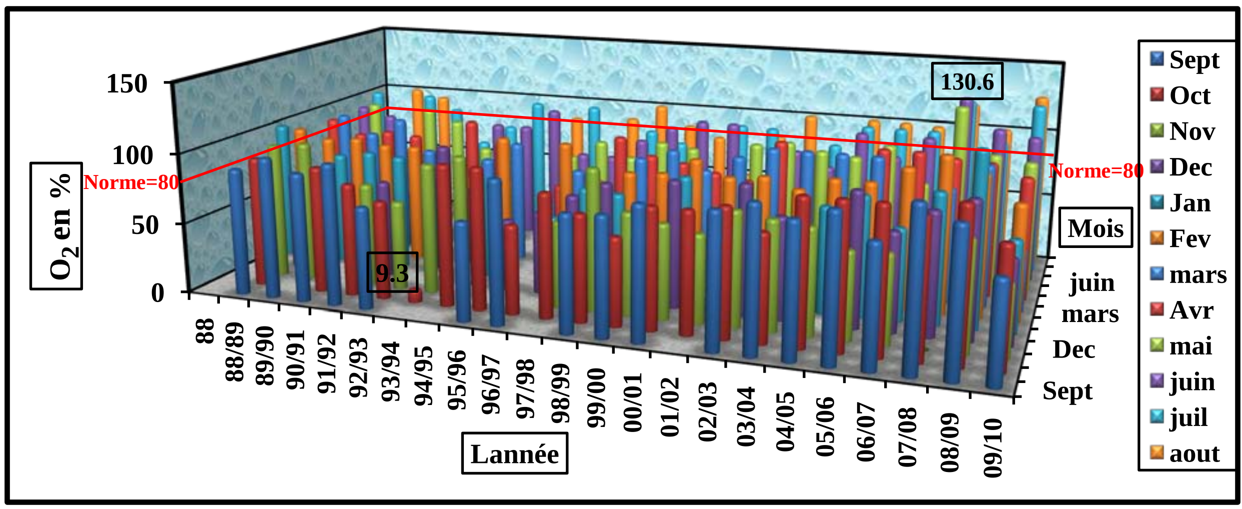


Fig. 71 : Variation mensuelle de l'oxygène dissous O_2 (en%) des eaux du barrage de Ain zada (Période : 1988-2010)

L'oxygène a la capacité de se dissoudre beaucoup plus facilement dans les eaux froides. Plus le barrage présent des températures élevées, plus sa concentration d'oxygène dissout n'aura la tendance à diminuer. Les valeurs obtenues pour l'oxygène dissous varie de 9,3% au mois d'Octobre 1993 à 130.6% au mois de Juin 2008. La moyenne est de 84%, traduisant une bonne qualité.

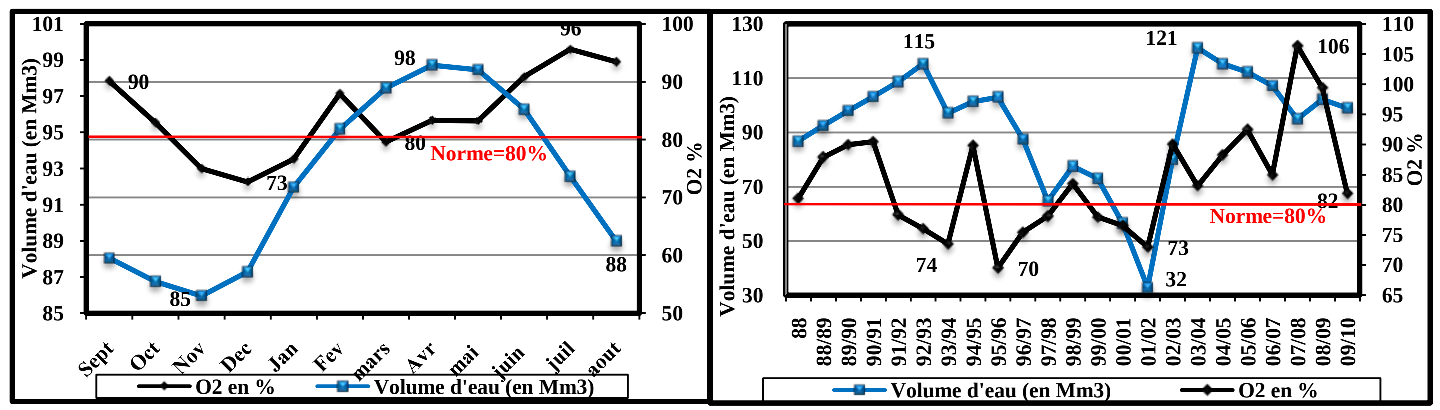


Fig. 72: Variations moyennes mensuelle et annuelle de l'oxygène dissous O_2 (en %) sous l'effet du volume de l'eau dans le barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

Les concentrations en oxygène dans l'eau de la cuvette sont peu variables, les graphes montrent que l'oxygène dissous se présente sous de forte teneur pendant la période chaude (été). Cette augmentation est due peut être à la forte activité photosynthétique des algues qui se développent pendant l'été dans les eaux de la cuvette du barrage, selon la relation suivante (Redfield et al., 1963) :

$$106C + 16N + P + nH_2O + mH^+ + Oligoéléments + lumière \xrightarrow{Photosynthèse} C106N16PH_xO_y + 138O_2 \ldots (1)$$

Les rejets domestiques contribuent à la diminution de la teneur en oxygène, ce dernier étant consomme par les micro-organismes pour dégrader la matière organique. Quand la température est favorable, l'apport de nutriment par les effluents participent d'abord à un effet de sursaturation à la suite du développement, de végétaux verts, puis à la fin du cycle végétatif à un déficit qui peut être sévère pour la survie des organisme dont les macro invertébrés benthiques et par conséquent pour l'équilibre de l'écosystème lacustre. La qualité des eaux d'après la grille de l'Agence du Bassin Adour Garonne (Monod, 1989) :

Tableau. 43: Qualité des eaux en Oxygène dissous

Oxygène dissous (mg/l) Oxygène de saturation (%)	Qualité des eaux	Classe
> 7 mg/l → > 90%	Normale	1A
entre 5 et 7mg/l → 70% à 90%	Bonne	1B
entre 3 et5 mg/l → 50% à70%	Moyenne	2
< 3mg/l → < 50%	Médiocre	3

Il est à noter que la situation devient :

- Critique entre 30% et 50% de saturation, - Dangereuse entre 30 et 10%,
- Létale pour la faune aquatique si le pourcentage est inférieur à 10%.

4.1.7. Résidu sec à 105°C :

Le résidu sec pesé suite à l'évaporation de 100 ml d'eau non filtrée permet de déterminer les teneurs en matières dissoutes après soustraction des matières en suspension. Ces matières dissoutes représentent la majeure partie du résidu sec.

Les teneurs extrêmes pesées sont 1000 mg/l marqué au mois de Juin 2004 alors que la faible valeur et de 272 mg/l enregistrée au mois de Mars de la même année. La moyenne est de 721,33 mg/l n'atteint pas la norme, traduit la bonne qualité.

Tableau. 44 : Variation de Résidu sec des eaux du barrage de Ain zada (Période : 1988-2010)

Paramètres	Paramètres statistiques			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max (mg/l)	Moy (mg/l)	Min (mg/l)	Ecart type
	1000	721.33	272	113.03
Normes	Norme de potabilité OMS : 2000 mg/l			

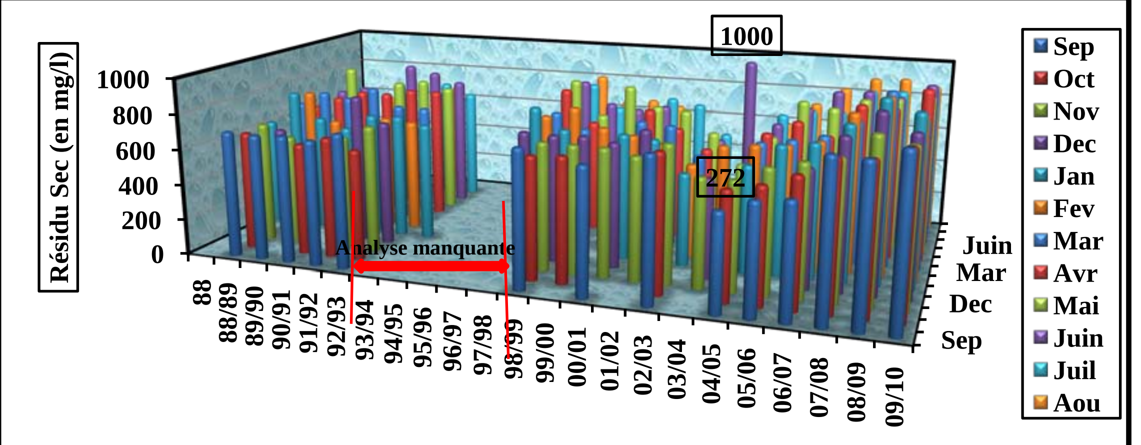


Fig. 73 : Histogramme des variations mensuelle des Résidu sec (RS) dans les eaux du barrage de Ain Zada période (1988/2010 D'après l'ANRH)

On remarque à partir de ses graphes que le résidu sec des eaux du barrage de Ain zada évolue inversement proportionnelle avec le volume globale de l'eau du barrage, il est présenté en grande valeur pendant les périodes des basses eaux et des années sèches et de faible valeur en période et années des hautes eaux (phénomène de dilution).

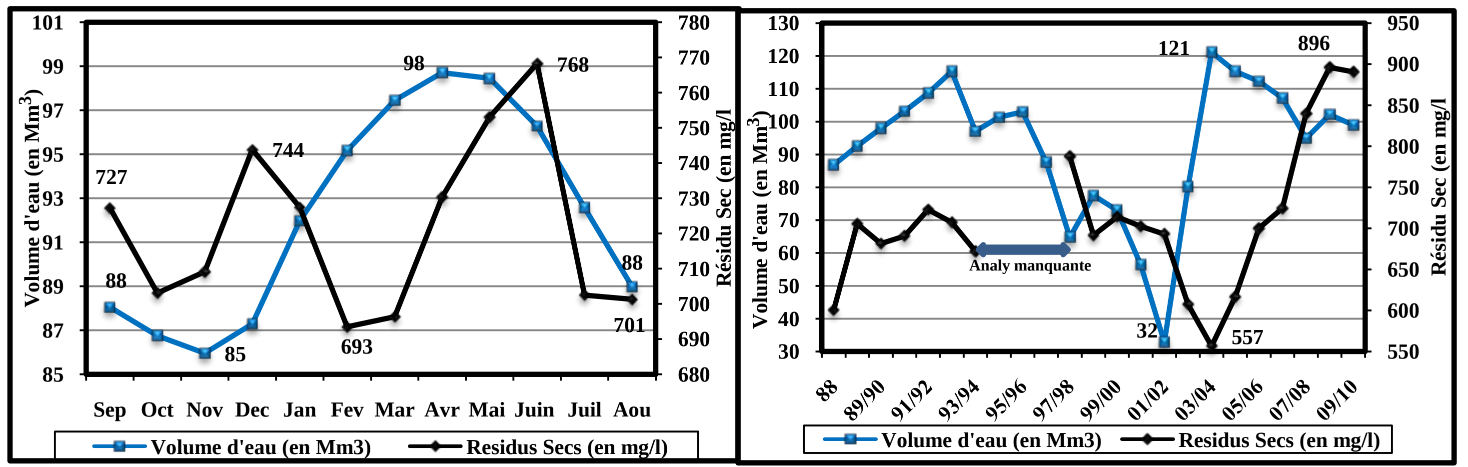


Fig. 74 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle du Résidu Sec sous l'effet du volume de l'eau dans le barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

4.2. Eléments minéraux

La qualité de l'eau est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques, déterminant à leur tour des caractéristiques organoleptiques immédiatement perceptibles pour l'usager.

4.2.1. Les éléments majeurs

4.2.1.1. Calcium

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : la dissolution des formations carbonatées ($CaCO_3$) et la dissolution des formations alluvionnaires gypseuses ($CaSO_4$) gisement de Guellal. Les eaux du barrage de Ain zada présentent des teneurs en calcium comprises entre la valeur minimal 26 mg/l au mois d'Aout 2001 et la valeur maximal de 176 mg/l enregistré au mois de Novembre 1988 et avec une valeur moyenne de 71.5 mg/l, les teneurs en calcium dans l'eau du barrage conforme à la norme maximale admissible des eaux destinées à la consommation humaine (classées de bonne qualité).

Tab. 45 : Variations de la teneur en Calcium dans les eaux du barrage de Ain Zada

Paramètres	Paramètres statistiques du Calcium (Ca^{2+})			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max (mg/l)	Moy (mg/l)	Min (mg/l)	Ecart type
	176	71.5	26	16.34
Normes	Norme de potabilité OMS : 200 mg/l			

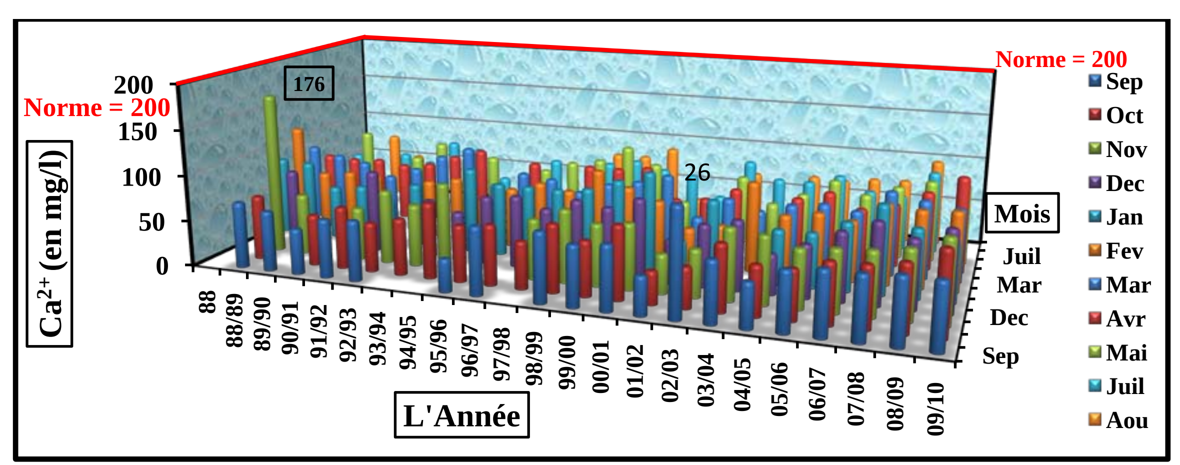


Fig.75:Histogramme de la variation mensuelle de la teneur en Calcium dans les eaux du barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

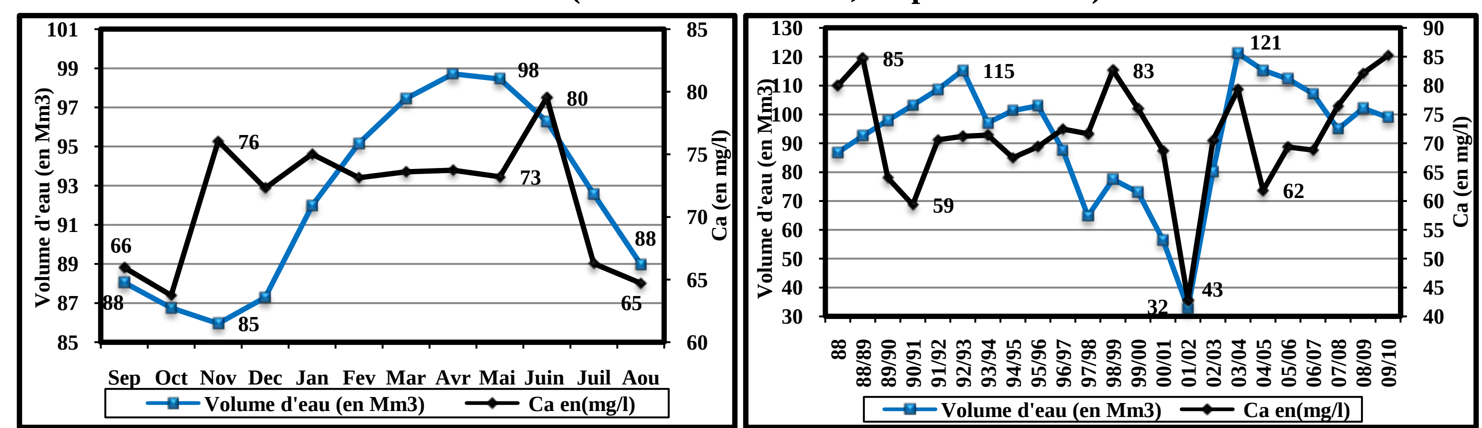


Fig. 76 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle de la teneur en Calcium sous l'effet du volume de l'eau du barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

On remarque que l'augmentation de la concentration des eaux en teneur de Calcium (Ca^{2+}) est proportionnelle avec le volume global de l'eau du barrage. Elle augmente aux périodes des hautes eaux et les années humides et l'inverse aux périodes des basses eaux et années sèches. Son origine dans l'eau du barrage est liée principalement aux formations géologiques traversées (formations carbonatées et gypseuses du gisement du Guellal).

4.2.1.2. Magnésium

Ayant des origines comparables à celle du calcium, cet élément provient :

- de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).
- des formations salifères riches en magnésium ($MgSO_4$) gisement de Guellal.

Magnésite: $MgCO_3 \Longleftrightarrow Mg^{++} + CO_3^{--}$ ……………………………….…… *(2)*

Dolomite: $CaMg(CO_3)_2 \Longleftrightarrow Ca^{++} + Mg^{++} + 2CO_3^{--}$ ……….………… *(3)*

On remarque que L'évolution des teneurs en magnésium est inversement proportionnelle à celle du calcium.

Les teneurs les plus élevées sont observées au niveau de l'année la plus sèche (année 2002) avec une valeur maximale de 140 mg/l au mois de Juillet et Novembre de cette année. La valeur la plus faible (7mg/l) est enregistrée au mois de Novembre de l'année 1993, mois de Mai de l'année 1999 et le mois de Mars 2004.

L'eau du barrage atteint une valeur moyenne de magnésium de l'ordre de 32 mg/l. La comparaison des concentrations avec la norme admissible de potabilité montre que les teneurs inférieures à la limite de potabilité. Néanmoins, l'année 2002 montre des valeurs qui dépassent la moyenne admissbile (50 mg/l), cela est dû à une sécheresse durant l'année 2002.

Tableau. 46 : Variations de la teneur en Magnésium dans les eaux du barrage de Ain Zada

Paramètres	Paramètres statistiques du Magnésium (Mg^{2+})			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max (mg/l)	Moy (mg/l)	Min (mg/l)	Ecart type
	140	32	7	15.78
Normes	Norme de potabilité OMS : 150 mg/l			

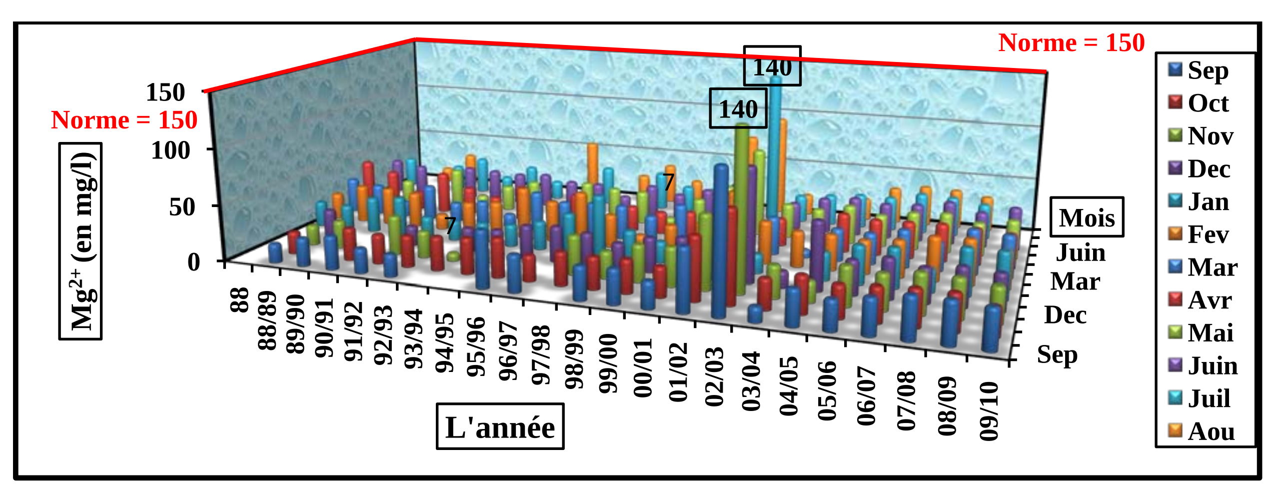


Fig. 77: Histogramme des variations de la teneur en Magnésium dans les eaux du barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

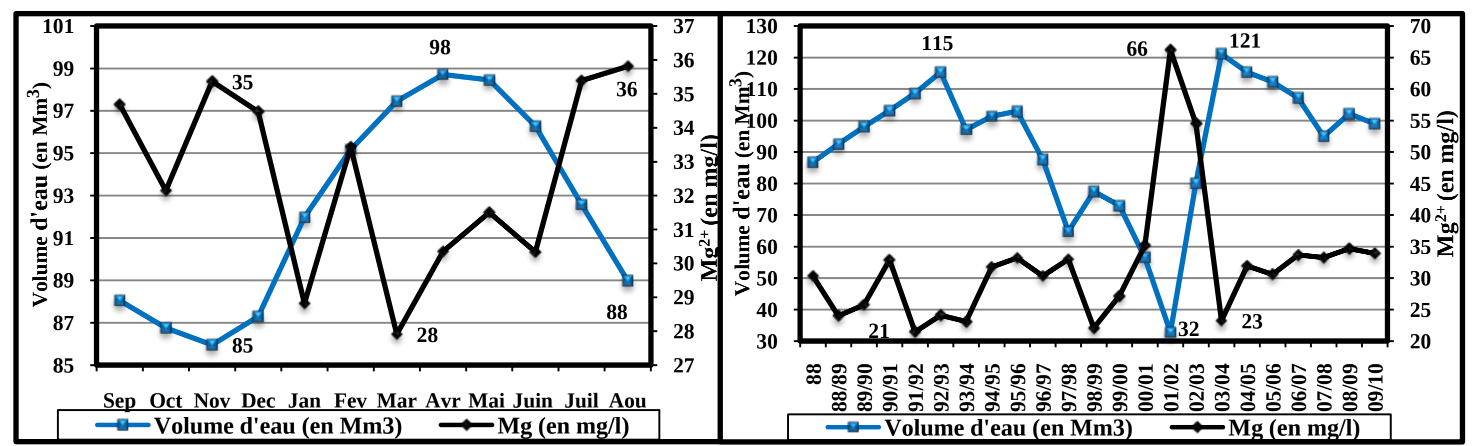


Fig. 78 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle de la teneur en Magnésium sous l'effet du volume de l'eau dans le Barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

On remarque que l'évolution de la concentration des eaux du barrage de Ain zada en teneur de Magnésium (Mg^{2+}) est l'inverse à celle des teneur en Calcium (Ca^{2+}). Leur augmentation est inversement proportionnelle avec le volume global de l'eau du barrage, (augmente en périodes des basses eaux et des années sèches et diminué en périodes des hautes eaux et les années humides (Fig.78).

4.2.1.3. Chlorure et Sodium

L'origine de ces éléments est liée principalement à la dissolution des formations évaporitiques (salifères du gisement de Guellal) et on amont au niveau de oued Malleh, donc leur existence est liée aux formations triasiques gypsifères qui caractérise cette zone au centre du bassin versant.

Aussi, aux rejets des eaux usées des agglomérations et des villes les plus proches du barrage tel que Sétif et Ain Taghrout (leurs réseaux d'assainissement déversées directement dans le cours d'eau qui alimente le barrage. La dissolution des minéraux salifères se fait selon la relation suivante :

$$NaCl \Longleftrightarrow Na^{+} + Cl^{-} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

- Le Sodium : les valeurs du Sodium oscillent entre la valeur minimal 18 mg/l au mois de Juillet 2004 et la valeur maximal 200 mg/l au mois de Décembre 2008 ; On s'aperçoit que les plus fortes teneurs sont enregistrées pendant la période de basses eaux alors que les plus faibles teneurs sont enregistrées pendant la période des hautes eaux.

La moyenne de teneur en sodium des eaux du barrage est de l'ordre de 104.46 mg/l, supérieure à la norme européenne admissible (100 mg/l), mais n'atteint pas la norme algérienne qui est de 200 mg/l.

Tableau. 47 : Variation de la teneur en Sodium dans les eaux du barrage de Ain Zada

Paramètres	Paramètres statistiques			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max (mg/l)	Moy (mg/l)	Min (mg/l)	Ecart type
	200.2	104.46	18	30.45
Normes	Norme de potabilité CEE : 100mg/l			

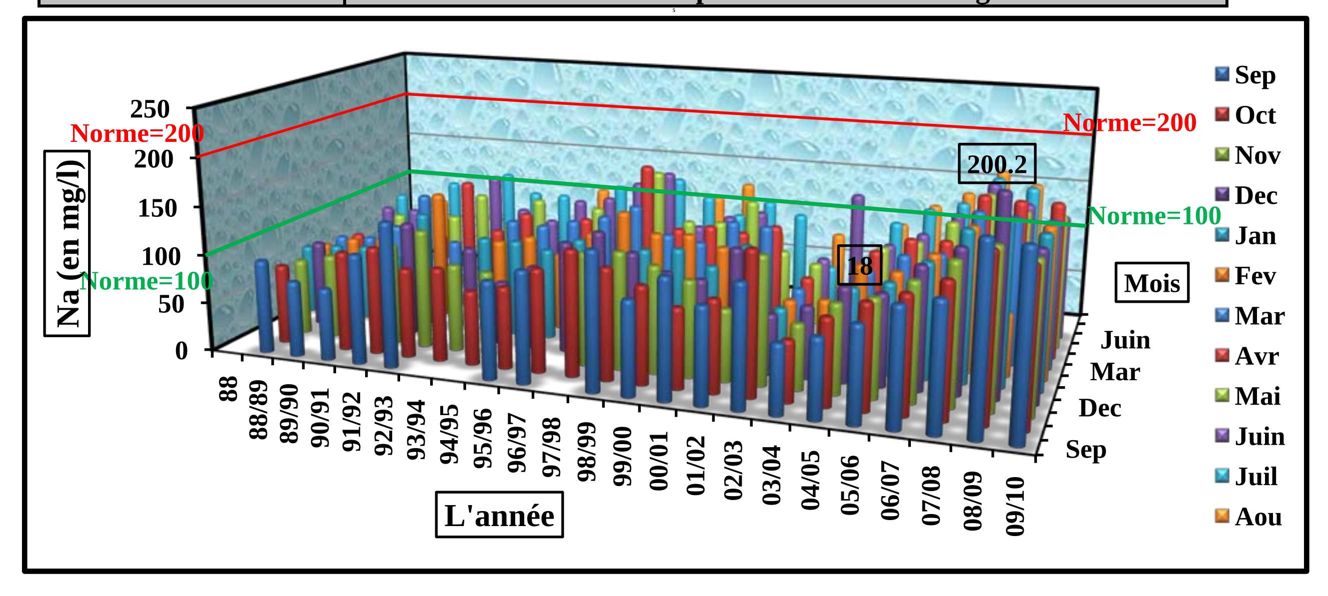


Fig. 79 : Histogramme des variations de la teneur en Sodium dans les eaux du barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

On remarque que l'augmentation de la concentration des eaux du barrage de Ain zada en teneur de Sodium (Na^+) est inversement proportionnelle avec le volume globale de l'eau du barrage, elle augmente en période de basses eaux et des années sèches et diminués en période des basses eaux et des années humides (Fig.80)

.

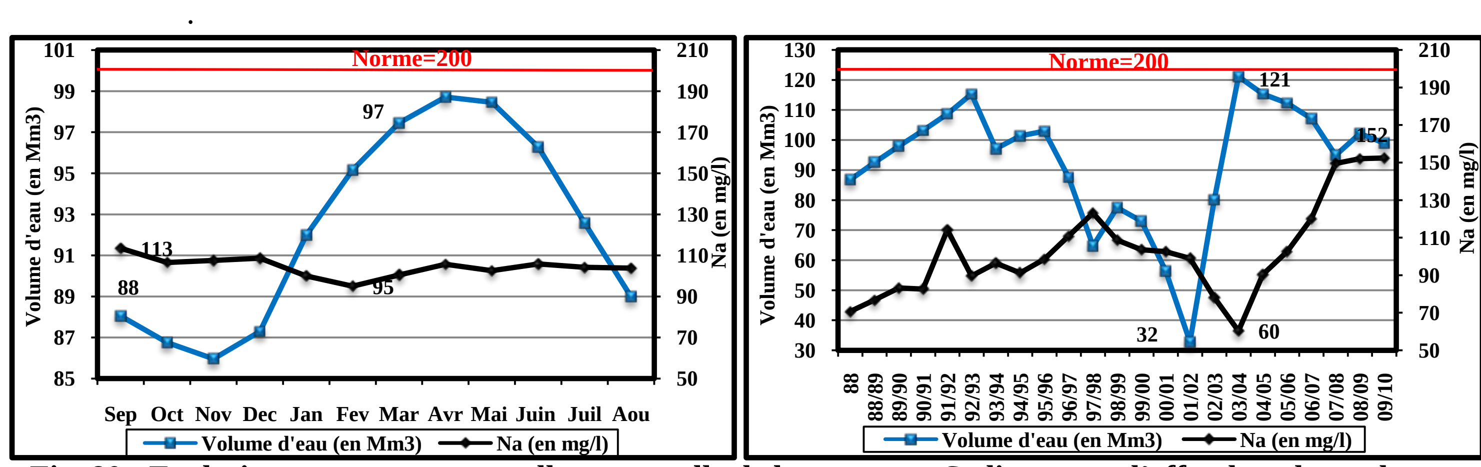


Fig. 80 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle de la teneur en Sodium sous l'effet du volume de l'eau dans le Barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

4.2.1.4. Potassium

Métal blanc argenté, alcalin, radioactif, très réactif à l'eau, se trouve dans la nature sous la forme de chlorures doubles dans de nombreux minerais, tels que la carnallite (très minéralisée en contact avec certaines évaporites) et se trouve également dans les centres des végétaux sous forme de carbonate ; Le potassium provient de l'altération des roches silicatées, des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK, a base d'Azote, Potasse et Phosphore) retrouvés dans les eaux usées agricoles.

Les valeurs de Potassium (K^+) les plus élevées sont observées dans les premières années du fonctionnement du barrage (Fig.81) entre les années 1988 et 1999, Elles dépassent les 25 mg/l. la moyenne est de l'ordre de 7.5 mg/l, inferieur à la norme de potabilité de l'OMS (12mg/l) ou la norme algérienne (20 mg/l).

Tableau. 48 : Variation de la teneur en Potassium dans les eaux du barrage de Ain Zada

Paramètres	Paramètres statistiques			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max (mg/l)	Moy (mg/l)	Min (mg/l)	Ecart type
	30	7.06	0	5.4
Normes	Norme de potabilité OMS : 12 mg/l			

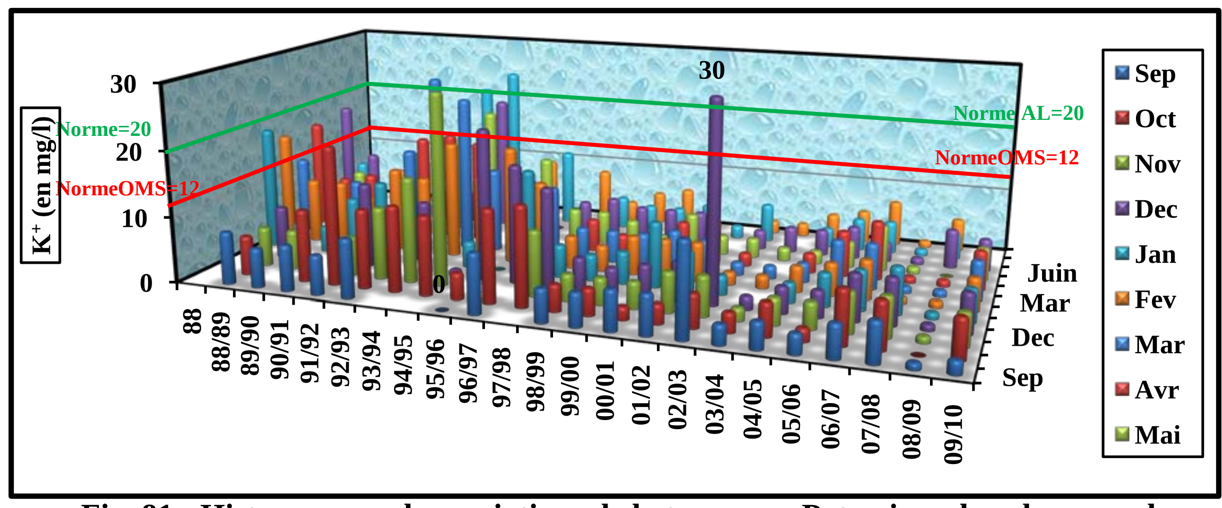


Fig. 81 : Histogramme des variations de la teneur en Potassium dans les eaux du Barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

D'une manière générale, on remarque que l'augmentation de la concentration des eaux en teneur de Potassium (K^+) est inversement proportionnelle avec le volume global de l'eau du barrage. La concentration augmente en période de basses eaux et des années sèches et diminués en périodes des hautes eaux et les années humides (phénomène de dilution), (Fig.82).

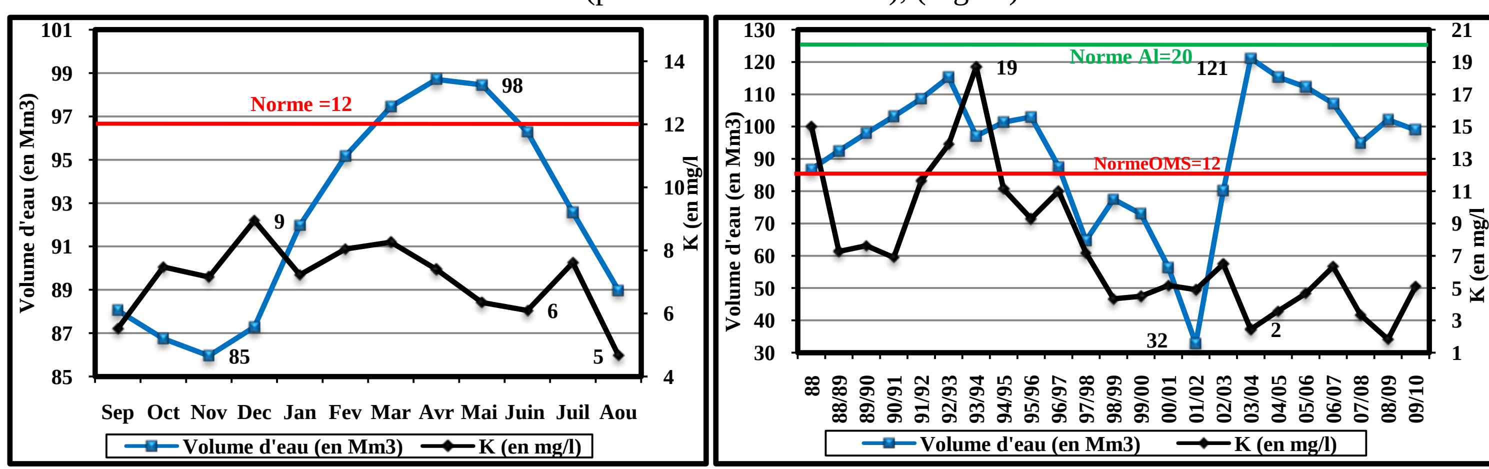


Fig. 82 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle de la teneur en Potassium sous l'effet du volume de l'eau dans le Barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

4.2.1.5. Les Chlorures (Cl^-):

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères. Mais les chlorures en concentration plus modeste peuvent avoir une origine à l'eau usée des villes tels que Sétif Ain arnet, Ain Taghrout et Bir kasd Ali (agglomération la plus proche du barrage).

On remarque que les teneures en chlorures (Cl) dans les eaux du barrage de Ain zada dépasse parfois la norme de l'OMS (250mg/l). La concentration maximale est de 315mg/l enregistrée au mois de Décembre 2008 alors qu'à la valeur la plus faible est de 30 mg/l marquée au mois d'Août 2004 , la moyenne de chlorure dans les eaux du barrage de Ain zada est de l'ordre de 161,63 mg/l.

Tableau. 49 : Variations de la teneur en Chlorure dans les eaux du barrage de Ain Zada

Paramètres	Paramètres statistiques de Chlorures (Cl^-)			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max (mg/l)	Moy (mg/L)	Min (mg/l)	Ecart type
	315	161.63	30	50.62
Normes	Norme de potabilité OMS : OMS 250 mg/l			

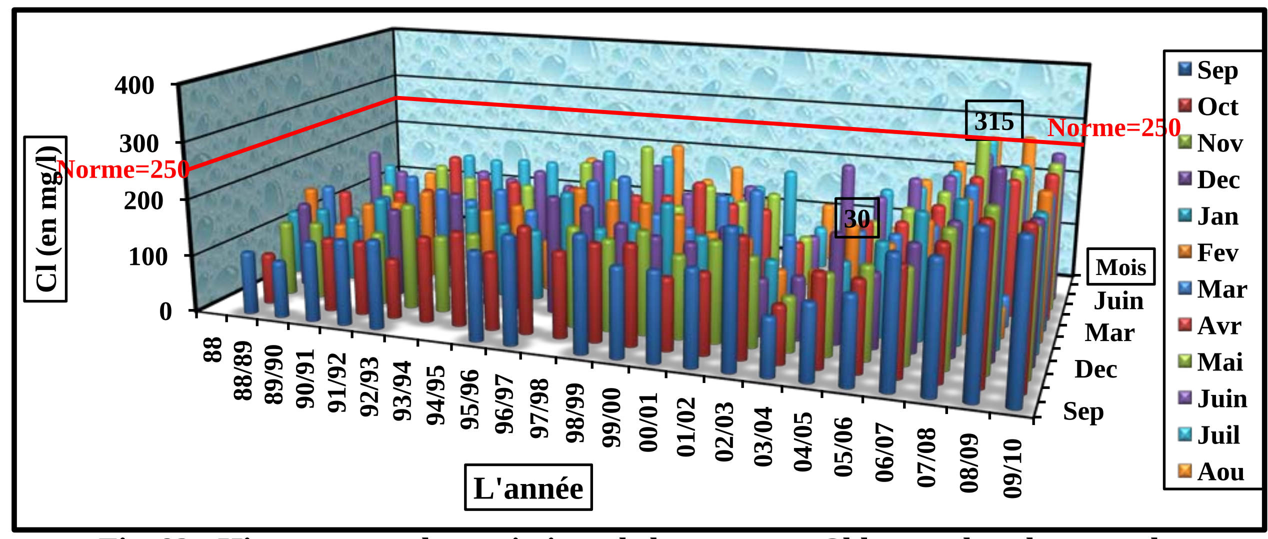


Fig. 83 : Histogramme des variations de la teneur en Chlorure dans les eaux du barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

A partir des graphes ci dessous (Fig.84), on observe que la concentration des eaux du barrage de Ain zada en teneur de Chlorure (Cl^-) est inversement proportionnelle avec le volume global de l'eau du barrage. Elle augmente en périodes de basses eaux et des années sèches et diminués en périodes des hautes eaux et les années humides (phénomène de dilution).

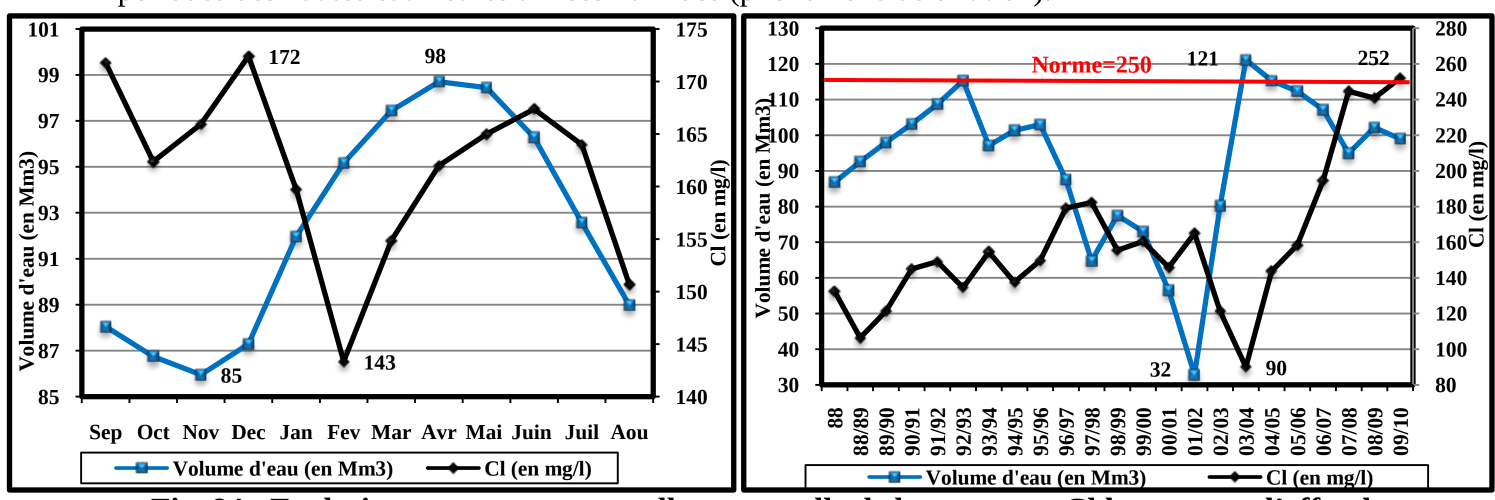


Fig. 84 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle de la teneur en Chlorure sous l'effet du volume de l'eau dans le Barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

4.2.1.6. Sulfates

La présence des ions de sulfates (SO_4^{2-}) dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses d'une part, aux pesticides provenant des eaux d'irrigation d'autre part.

Les concentrations observées au niveau des eaux de la cuvette du barrage indiquent que les teneurs moyennes de SO_4 dépassent légèrement la norme. La valeur maximale est de 380 mg/l enregistré aux mois de février et mars 2009, alors que la plus faible est de 48 mg/l marquée au mois de mars 2004. La moyenne est de 164 mg/l. Ses valeurs sont dues à la présence des formations gypseuses existantes dans la région (gisement de Guellal).

Tableau. 50 : Variations de la teneur en Sulfates dans les eaux du barrage de Ain Zada

Paramètres	Paramètres statistiques			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max (mg/l)	Moy (mg/l)	Min (mg/l)	Ecart type
	380	164.39	48	40.76
Normes	Norme de potabilité OMS : 250 mg/l			

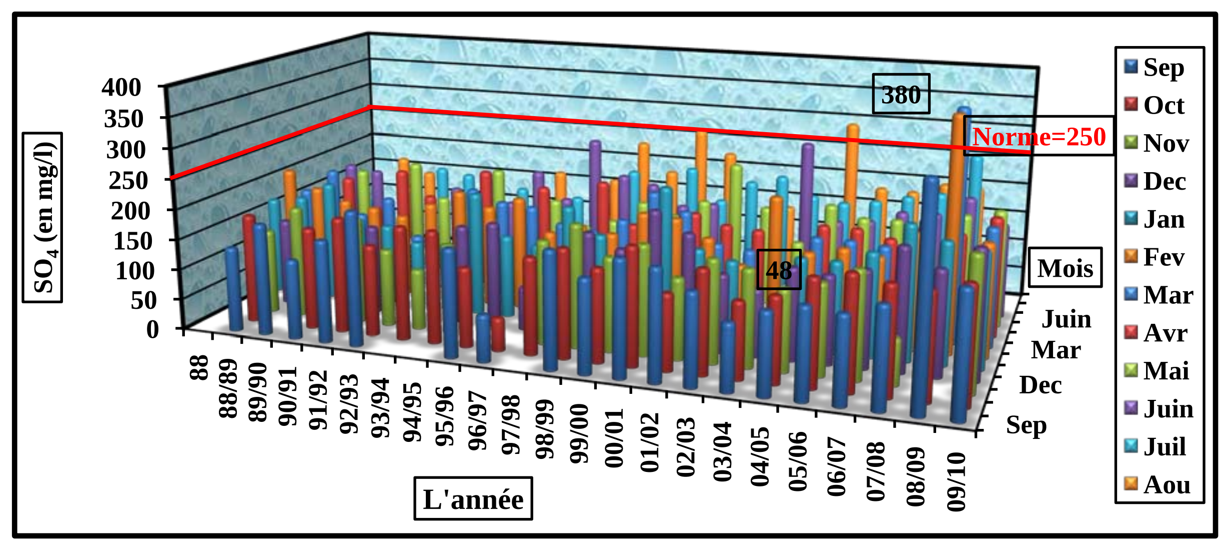


Fig. 85 : Histogramme des variations de la teneur en Sulfates dans les eaux du Barrage de Ain Zada période (1988/2010 D'après l'ANRH)

On remarque que l'augmentation de la concentration des eaux du barrage de Ain zada en teneur de Sulfates (SO_4^{2-}) est inversement proportionnelle avec le volume global de l'eau du barrage. Elle augmente en période de basses eaux et les années sèches et diminués en période des hautes eaux et les années humides (Fig. 86).

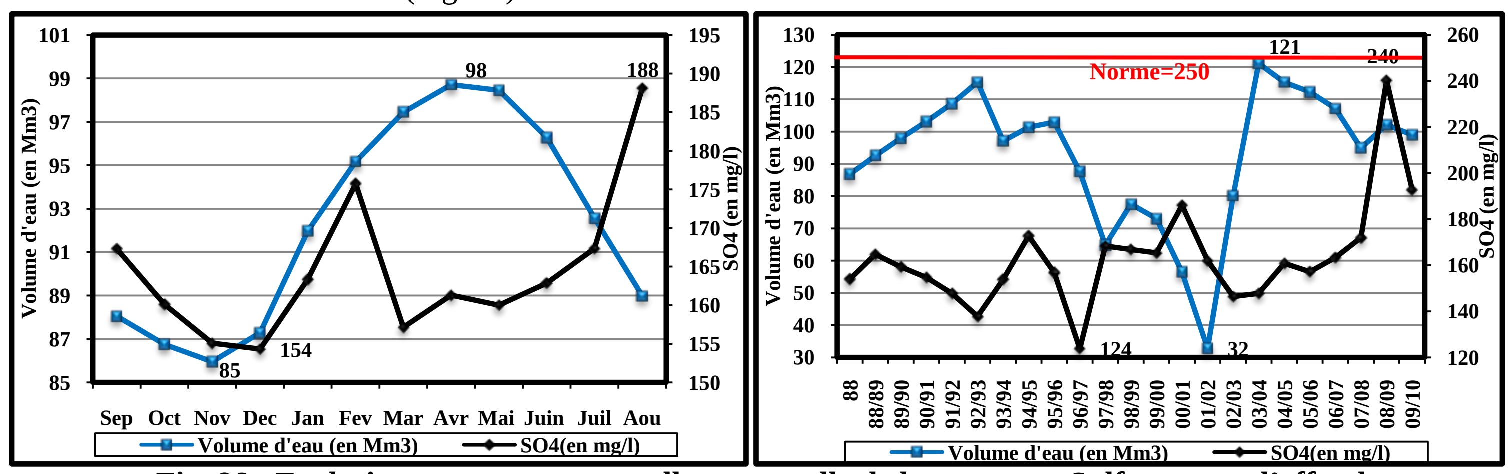


Fig. 86 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle de la teneur en Sulfates sous l'effet du volume de l'eau dans le Barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

4.2.1.7. Bicarbonates

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) Par des eaux chargées en gaz carbonique (CO_2) de la minéralisation de la matière organique. La réaction de dissolution est donnée par l'équation suivante :

$$CaCO_{3(S)} + H_2O_{(L)} + CO_{2(g)} \Longleftrightarrow 2HCO_3^- + Ca^{2+} \text{ ....(5)}$$

La valeur maximum des concentrations d'analyses du bicarbonate des eaux de la cuvette du barrage est de l'ordre de 237.9 mg/l enregistrée au mois d'Avril 1994 et la valeur minimum est de l'ordre de 79.3 mg/l marquée au mois juillet de la même année.

Les concentrations montrent des variations importantes enregistrées autour de la valeur moyenne qui est de 164.59 mg/l, ce qui indique une hétérogénéité des origines des bicarbonates.

Tableau. 51 : Variations de la teneur en Bicarbonates dans les eaux du barrage de Ain Zada

Paramètres	Paramètres statistiques du Bicarbonates (HCO_3^-)			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max (mg/l)	Moy (mg/l)	Min (mg/l)	Ecart type
	237.9	164.59	79.3	26.65

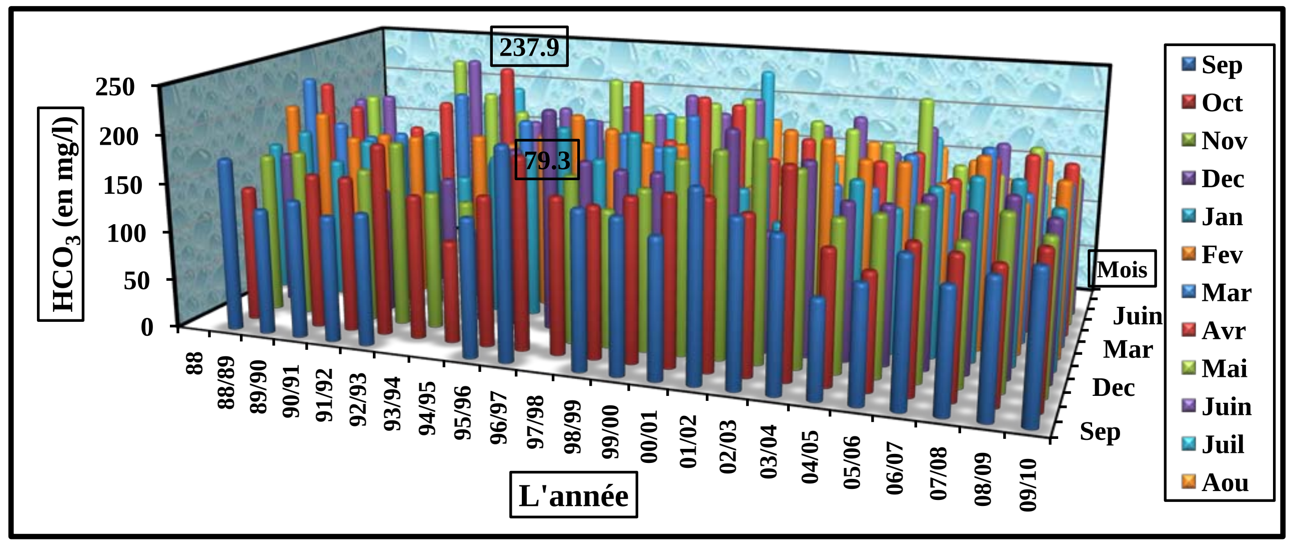


Fig. 87 : Histogramme des variations de la teneur en Bicarbonates dans les eaux du barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

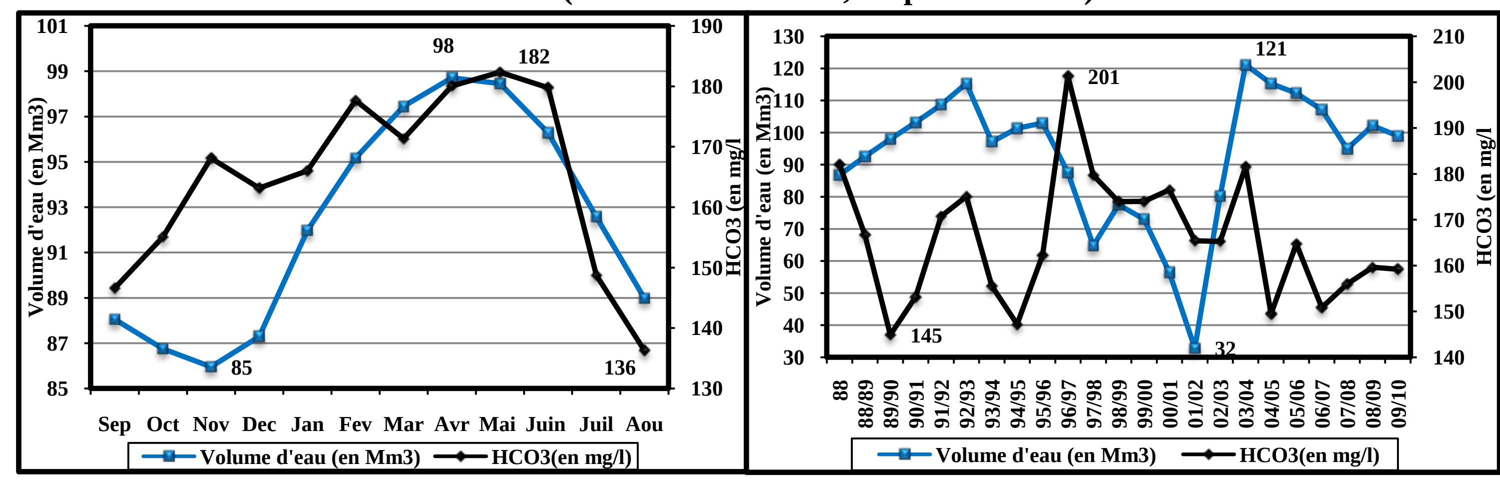


Fig. 88: Evolution moyennes mensuelle et annuelle de la teneur en Bicarbonates sous l'effet du volume de l'eau dans le barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

A partir de ces graphes ci-dessous (Fig. 88), on observe que la concentration des eaux du barrage de Ain zada en teneur de Bicarbonates (HCO_3^-) évolue presque avec le volume globale de l'eau du barrage. Elle augmente en période des hautes eaux et années humides et diminués en période de basses eaux et des années sèches.

4.2.2.Evolution des paramètres chimiques (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+},Cl^{-},HCO_3^{-},SO_4^{-}),la Conductivité électrique, le volume de l'eau, la MES, la M.O et O2 des eaux de la cuvette du Barrage de Ain Zada pour la période 1988-2010

A partir de tous ces graphes (Fig.89), on remarque que la majorité des éléments chimiques suivent l'évolution inverse du volume de l'eau de la cuvette du barrage. Certains éléments varient peut avec le volume ceci ne peut être explique que par le phénomène de dilution, de la concentration et aussi par les rejets des eaux usées et industrielles (Fig. 89).

En remarque sur la courbe de la conductivité de faibles valeurs dans l'eau pendant les premières années de la mise en service du barrage, due aux faibles rejets des pollutions. Après, une évolution inverse avec l'évolution du volume d'eau cela est due au phénomène de dilution. Ces derniers années (de l'année 2005 jusqu'au 2010), la Conductivité électrique présente des grandes valeurs et donne presque la même évolution que les chlorures pour toute cette période (même allure des courbes). Cela est expliqué par la présence des rejets urbains, industriels et au lessivage et l'épandage d'engrais des sols agricoles. Idem pour la courbe des sulfates mais probablement pour ce dernier a une origine naturelle (géologique : formation gypseuse). Les courbes des autres paramètres, le magnésium, le sodium et le potassium évoluent de la même façon que celle du chlorure et de la courbe de la conductivité.

La courbe de la matière organique présente une constante et une faible variété pour toute cette période. Alors pour les courbes de bicarbonates, le calcium et de la matière en suspension évoluent pour toute cette période avec l'évolution de volume du barrage. Elles augmentent en période des hautes eaux et années humides diminués en période de basses eaux et des années sèches.

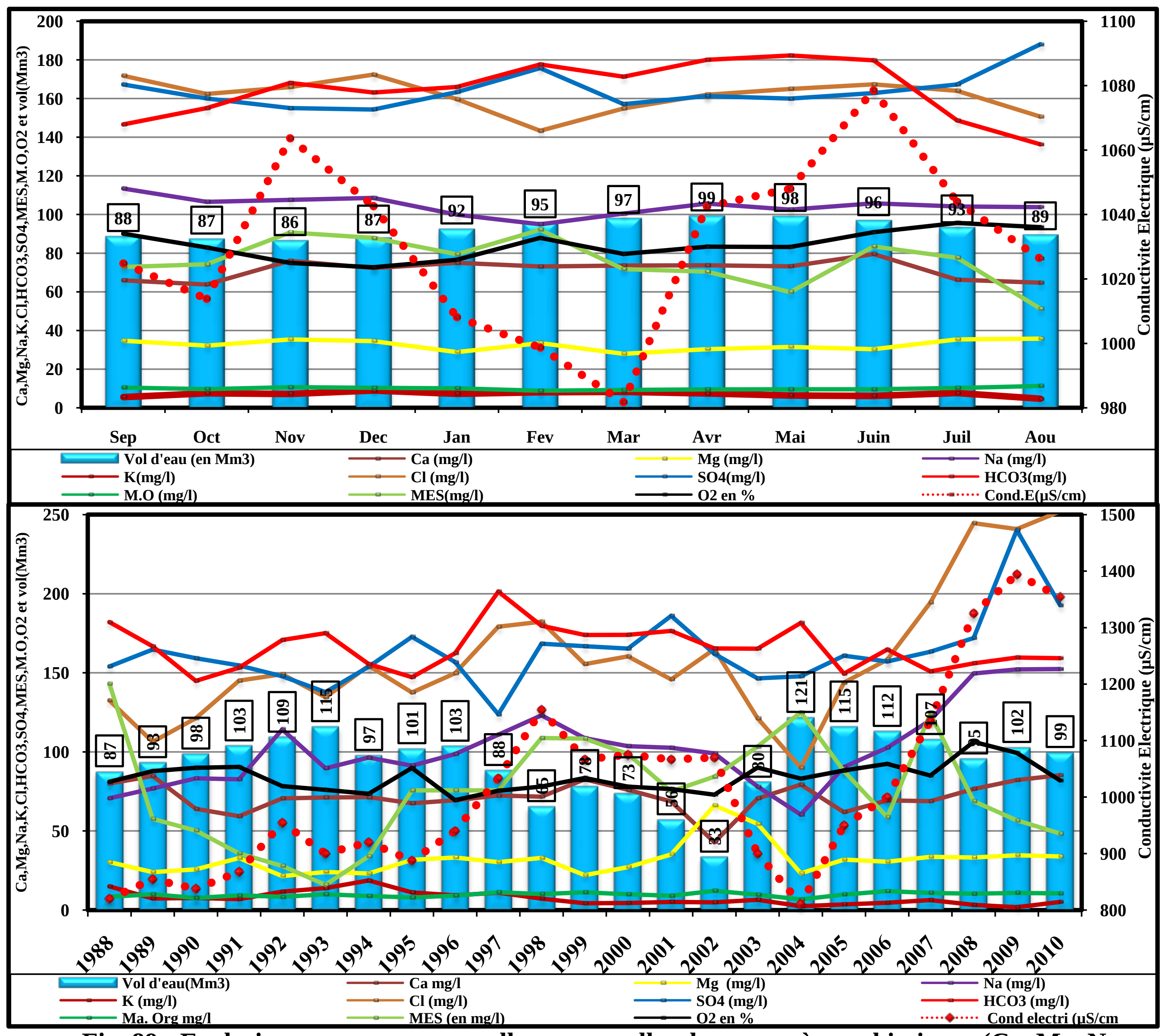


Fig. 89 : Evolution moyennes mensuelles et annuelles des paramètres chimiques (Ca, Mg, Na, K, Cl, HCO_3, SO_4), MES, M.O, O_2 et la conductivité électrique des eaux de la cuvette du barrage de Ain Zada période (1988/2010 D'après l'ANRH)

4.3. Eléments indicateurs de pollution :

Les eaux usées proviennent essentiellement des activités (humaines) domestiques de tous les jours.

L'analyse la plus fréquente des éléments indicateurs de pollution urbaine comprend les mesures de la DBO_5, DCO, O_2, ainsi que les éléments azotés (NO_2^-, NO_3^-, NH_4^+).

Afin d'apprécier la qualité des eaux du barrage étudié, nous allons référés à la grille de la qualité globale des eaux dans le tableau ci-dessous.

Tableau. 52 : Grille de qualité des eaux superficielles des barrages en Algérie (d'après l'ANRH)

Paramètres	Unité	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
O2 (%)	%	**100 - 90**	**90 - 50**	**50 - 30**	**> 30**
DBO_5	mg/l	**< 5**	**5 - 10**	**10 - 15**	**> 15**
DCO	mg/l	**< 20**	**20 - 40**	**40 - 50**	**> 50**
Matière org	mg/l **M.O**	**< 5**	**5 - 10**	**10 - 15**	**> 15**
Ammonium	mg/l **NH_4**	**0 - 0.01**	**0.01 – 0.1**	**0.1 – 3**	**> 3**
Nitrate	mg/l **NO_3**	**0 - 10**	**10 - 20**	**20 - 40**	**> 40**
Nitrite	mg/l **NO_2**	**0 – 0.01**	**0.01 – 0.1**	**0.1 – 3**	**> 3**
Phosphate	mg/l **PO_4**	**0 – 0.01**	**0.01 – 0.1**	**0.1 – 3**	**> 3**

4.3.1. Les nutriments :

Les sources urbaines de nutriments incluent les eaux usées domestiques, les déchets industriels. Les sources rurales incluent celles de l'agriculture, de la gestion des forêts et des logements ruraux. Il s'agit d'un ensemble de substances organiques dont la dégradation implique une consommation de l'oxygène dissous dans l'eau (oxydation) ce qui à des conséquences directes sur la vie aquatique. L'importance de ces pollutions est estimée par deux mesures :

4.3.1.1. La Demande Biologique en Oxygène (DBO_5) :

La **DBO5** (**D**emande **B**iologique en **O**xygène) est la quantité d'oxygène utilisée en 5 jours par la dégradation naturelle. Parmi les substances organiques consommatrices d'oxygène, on trouve l'azote, le phosphore et le carbone.

La DBO5 représente plus particulièrement une mesure de la charge polluante d'origine carbonée (pollution organique biodégradable). L'effet principal d'un apport de matières organiques dégradables dans le milieu naturel est la consommation d'oxygène qui en résulte. En effet, la présence de microorganismes dans les eaux permet la dégradation en éléments plus simples, de certaines substances plus complexes d'origine naturelle (végétaux ou animaux morts) ou artificielles (eaux usées). Or, cette activité de dégradation ou auto-épuration, est consommatrice d'oxygène. Il nous a paru évident d'évaluer cette pollution organique quantité d'oxygène demandée. La DBO5 exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation des matières organiques, avec le concours des microorganismes, dans des conditions données et sur une période fixée à cinq jours.

A titre indicatif, un habitant produit en moyenne une charge de pollution équivalente à 60 grammes de DBO5 pour une journée, elle s'exprime en milligrammes d'oxygène par litre (mg O_2/l).

Tableau.53 : Variations des teneurs en DBO_5 dans les eaux du barrage de Ain Zada

Paramètres	Paramètres statistiques du (DBO_5)			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max (mg O_2/l)	Moy (mg O_2/l)	Min (mg O_2/l)	Ecart type
	13	3.92	1	2.13
Normes	Norme de potabilité OMS : 3 à 5 mg/l			

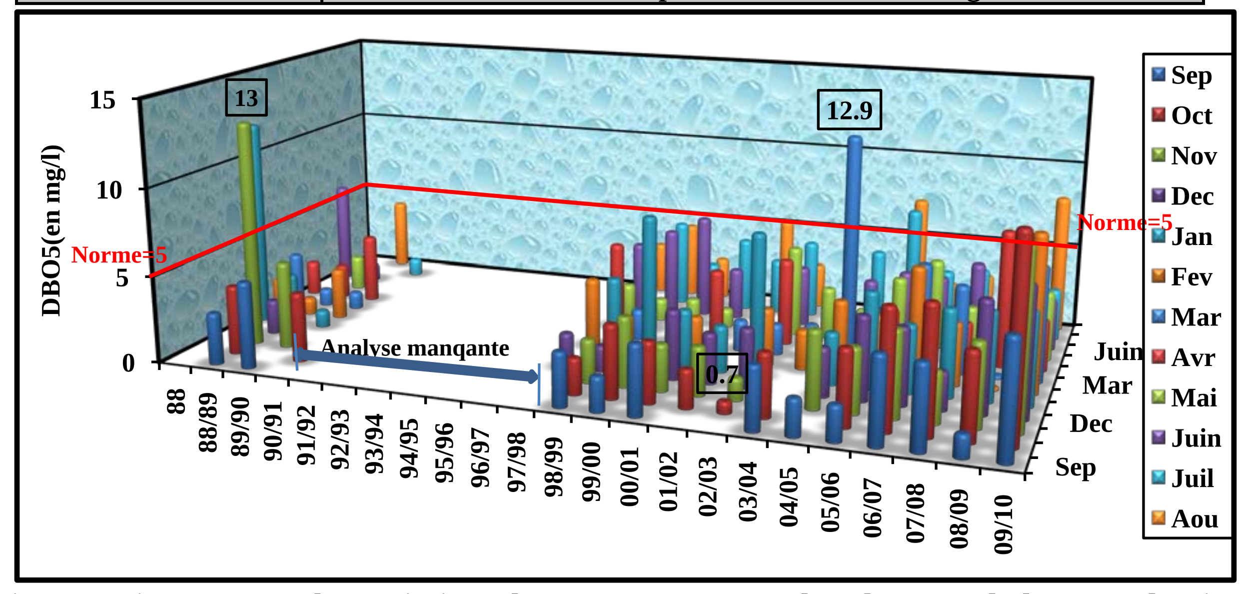


Fig. 90 : Histogramme des variations des teneurs en DBO_5 dans les eaux du barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

Vue le manque d'une série d'année d'analyse de cette paramètre chimique (de 1992 à 1997), les valeurs de la DBO_5 des années récentes montrent qu'elles sont atteint la gamme de la norme (classe de qualité bonne comprise entre 3 à 5mg/l). La valeur maximale est de 13 mg/l enregistrée au mois de Novembre 1988, alors qu'au mois d'octobre est notée la valeur minimale (0.7 mg/l). La moyenne est de l'ordre de 3.92 mg/l. Selon la norme algérienne, on le classe dans la catégorie de qualité bonne.

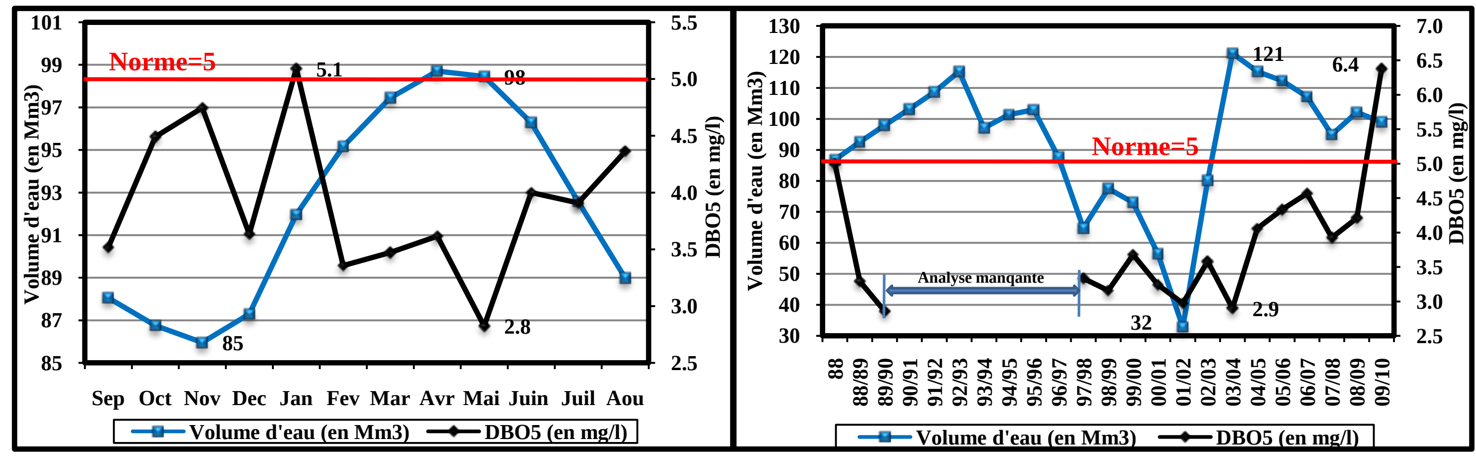


Fig. 91 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle des teneurs en DBO_5 sous l'effet du volume de l'eau du barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

À partir de ces graphes on observe que l'augmentation des teneurs en DBO_5 dans les eaux du Barrage de Ain Zada est inversement proportionnelle avec le volume globale de l'eau du barrage, elles sont plus élevés pendant les périodes des basses eaux et diminués est devient plus faible au période des hautes eaux (fig.91).

4.3.1.2. La Demande Chimique en Oxygène (DCO) :

La **DCO** (**D**emande **C**himique en **O**xygène) est la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables dans des conditions de l'essai. Contrairement à la DBO_5 où l'oxydation se fait lentement par l'activité des microorganismes, l'oxydation, la mesure de la DCO, est provoqué à l'aide d'un oxydant (bichromate de potassium) et des conditions données (ébullition, catalyseur, ...). Alors que la DBO_5 ne mesure que la matière organique naturellement et rapidement dégradable, la DCO permet de mesurer la majeure partie de la matière organique biodégradable et peu dégradable. C'est pourquoi les valeurs de DCO sont nécessairement supérieures aux valeurs de DBO_5. Le rapport DCO-DBO_5 permet d'évaluer le caractère biodégradable de la matière organique. Les concentrations de ce paramètre sont illustrées dans le tableau suivant.

Tab.54 : Variations des teneurs en DCO dans les eaux du barrage de Ain Zada

Paramètres	Paramètres statistiques			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max (mg/l)	Moy (mg/l)	Min (mg/l)	Ecart type
	109	48.06	10	20.58
Normes	Norme de potabilité OMS : 20 à 25 mg/l			

A partir du graphe de l'évolution de la teneur de DCO dans l'eau de la cuvette du barrage de Ain zada est varie entre une valeur maximale de 109 mg/l enregistrée au mois de Décembre 2005 et une valeur minimale de 10 mg/l enregistrée au mois de Juin 2004. La moyenne est de l'ordre de 48.06 mg/l. La comparaison des concentrations avec la norme de potabilité montre que l'eau du barrage est classée entre une qualité passable à médiocre.

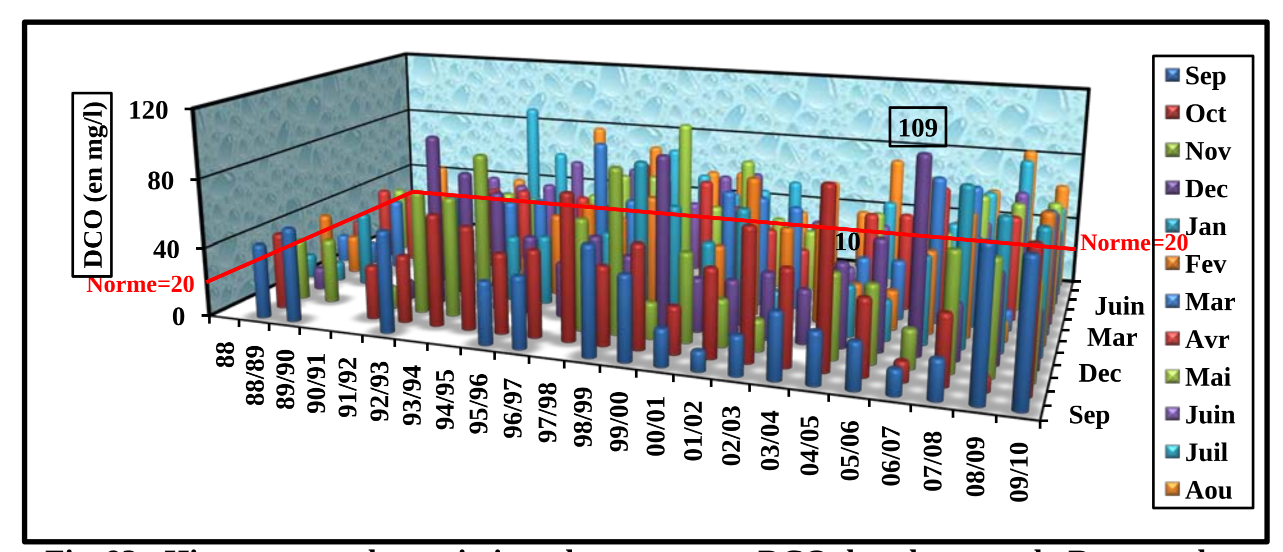


Fig. 92 : Histogramme des variations des teneurs en DCO dans les eaux du Barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

À partir des graphes (Fig. 93), on observe que l'augmentation des teneurs en DCO dans les eaux du Barrage de Ain Zada est inversement proportionnelle avec le volume globale de l'eau du barrage, elles sont plus élevés pendant les périodes des basses eaux et diminués est devient plus faible au période des hautes eaux.

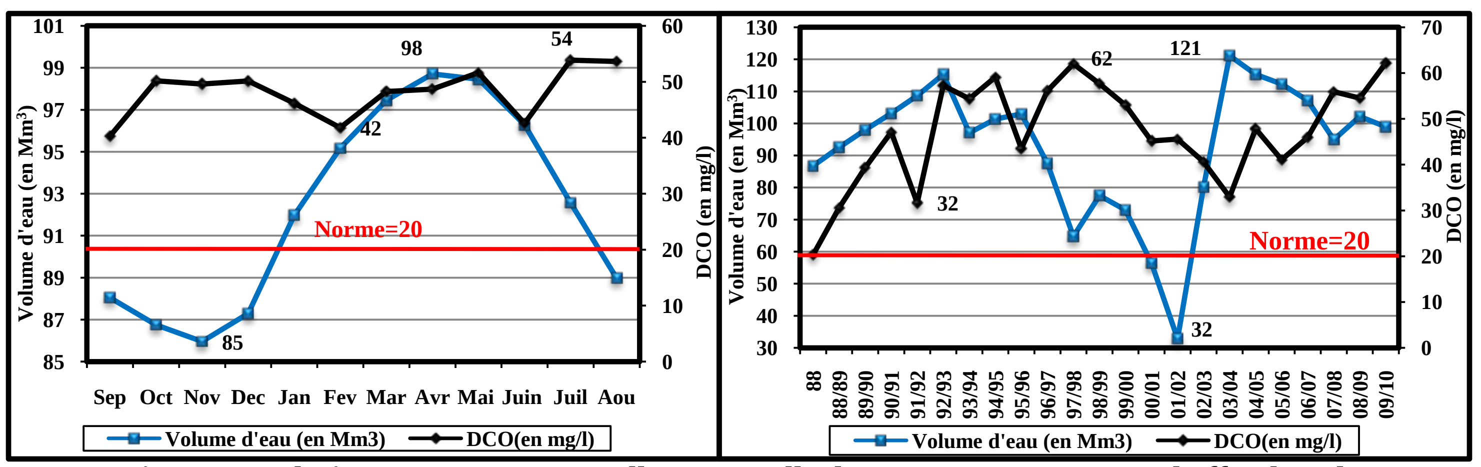


Fig. 93 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle des teneurs en DCO sous l'effet du volume de l'eau du barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

4.3.1.3. Le rapport DCO/DBO_5

Ce rapport évalue la biodégradabilité d'une eau usée, c'est à dire la faculté de transformation de la matière organique en matière minérale, admissible par le milieu naturel.

- Pour les eaux d'origine d'un effluent à dominante domestique, ce rapport est généralement compris entre 2 et 3.
- Pour les effluents d'industries agroalimentaires, il est inférieur, de l'ordre de 1,5 à 2, ce qui traduit une meilleure biodégradabilité.
- Enfin, lorsqu'il est supérieur à 3 cela traduit l'apport d'un effluent industriel plus ou moins difficilement biodégradable. Les tableaux 55.A et 55.B suivants déterminent les valeurs de ce rapport (mensuel et annuel).

Tableau. 55.A : Rapport DCO/DBO_5 pour les eaux du barrage d'Ain zada (Les moyennes des rapports annuelles)

Années	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	moy
DCO mg/l	20	31	39	47	32	57	54	59	44	56	62	58	53	45	46	41	33	48	41	46	56	55	62	**47,1**
DBO_5 mg/l	5	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	3	3	4	3	4	4	5	4	4	6	**3,8**
DCO/DBO_5	**4**	**9**	**14**	**12**	**8**	**15**	**14**	**15**	**11**	**15**	**19**	**18**	**14**	**14**	**15**	**11**	**11**	**12**	**9**	**10**	**14**	**13**	**10**	**12,3**

Tableau. 55B : Rapport DCO/DBO_5 pour les eaux du barrage d'Ain zada (Les moyennes des rapports mensuelles)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	moy
DCO mg/l	40	50	50	50	46	42	48	49	52	43	54	54	**48,06**
DBO_5 mg/l	4	5	5	4	5	3	4	4	3	4	4	4	**3,92**
DCO/DBO_5	**11**	**11**	**11**	**14**	**9**	**12**	**14**	**14**	**19**	**11**	**15**	**12**	**12,26**

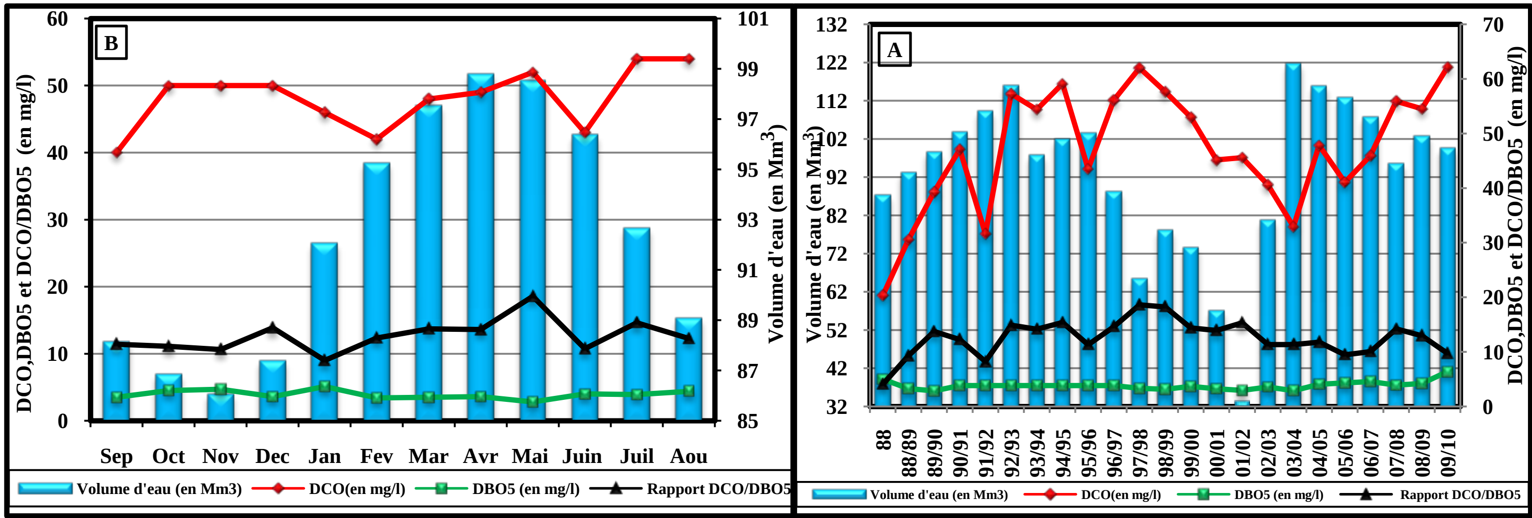


Fig. 94: Evolution moyennes mensuelle et annuelle des valeurs du Rapport DCO/DBO$_5$ sous l'effet du volume de l'eau dans le Barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

Les résultats obtenus du rapport DCO/DBO5 soit pour les analyses des moyennes mensuelles ou les moyennes annuelles des eaux de la cuvette du barrage de Ain zada (Tableau.55A et Fig.94) montrent que tous les valeurs sont supérieures à 3 ce qui traduit l'influence d'une pollution industrielle plus ou moins difficilement biodégradable.

4.3.1.4. Matière organique:

Les résultats d'analyses montre que les eaux de la cuvette du barrage de Ain Zada présentent des concentrations de teneurs en matière organique peut variable. Elles varient entre la valeur minimale 1.6 mg/l observée au mois de février 2004 et la valeur maximale 31 mg/l marquée au mois d'Août 2002. La moyenne de toute cette série de prélèvement montre une valeur de 9.95 mg/l, traduisant une qualité moyenne à mauvaise.

Tabl. 56 : Variations des teneurs en Matière organique dans les eaux dubarrage de Ain Zada

Paramètres	Paramètres statistiques			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max (mg/l)	Moy (mg/l)	Min (mg/l)	Ecart type
	31	9.95	1.6	3.00
Normes	Norme de potabilité OMS : 5 à 10 mg/l			

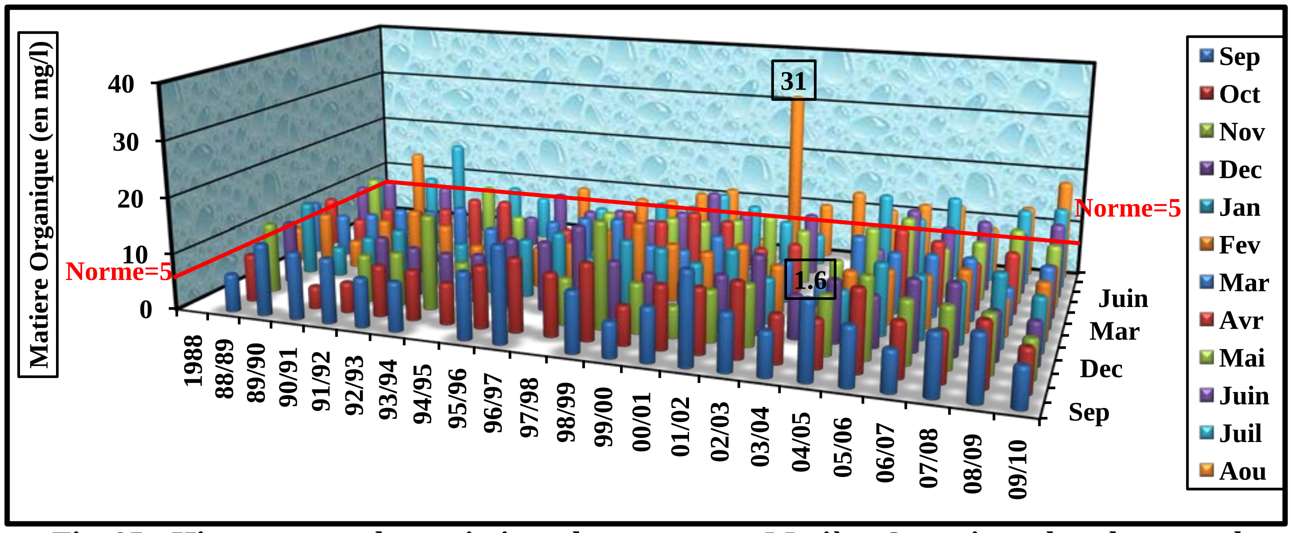


Fig. 95 : Histogramme des variations des teneurs en Matière Organique dans les eaux du barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

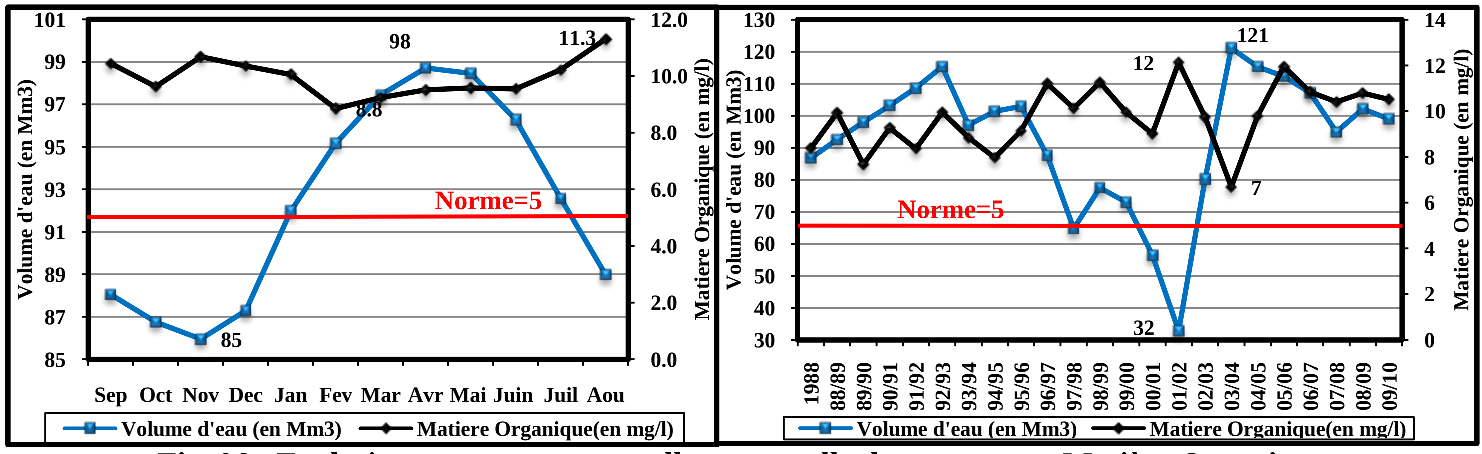


Fig. 96 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle des teneurs en Matière Organique sous l'effet du volume de l'eau dans le barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

On remarque que l'augmentation de la concentration des eaux du barrage de Ain zada en teneur de la matière organique est inversement proportionnelle avec le volume global de l'eau du barrage (Fig. 96). Elle augmente en période de basses eaux et des années sèches et diminués au période des hautes eaux et les années humides (phénomène de dilution).

4.3.2. Les éléments nutritifs :

4.3.2.1. Les différentes formes de l'Azote :

C'est un élément essentiel de la matière vivante. La quantité et la forme chimique de cet élément dans le milieu aquatique y conditionnent le développement de la vie. Il peut se présenter sous deux formes :

- une forme organique non oxydée et peu soluble (protéines, acides aminés, urée...) ;
- une forme minérale soluble, résultant de la dégradation de la forme organique par hydrolyse.

L'azote minéral se présente en solution ionique dans l'eau sous 3 formes principales :

- l'azote ammoniacal (ammoniac NH3 et ammonium NH_4^+) ;
- les nitrites NO_2^- ;
- les nitrates NO_3^- azote ammoniacal et nitrites sont oxydables. Les nitrates constituent la forme oxydée finale.

L'azote est présent tout le long du cours d'eau sous sa forme minérale sous les trois formes chimiques (nitrates, nitrite et ammonium) :

2.1.1. Les nitrates (NO_3^-):

Ils représentent la forme la plus oxygénée de l'azote. C'est une forme très soluble, sa présence est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques (Lhadi et al., 1996 ; Fryar et al., 2000). Sous cette forme, l'azote est un sel nutritif utilisable par la majorité des végétaux. Les concentrations moyennes au niveau des eaux de la cuvette du barrage est de 3.10 mg/l sont inférieures à la norme des eaux de surface, traduisent une bonne qualité, mais on observe quelque valeur qui dépasse la norme la plus élève est de 24 mg/l enregistré au mois de février 1992.

Tableau. 57 : Variations des teneurs en nitrates dans les eaux du barrage de Ain Zada

Paramètres	Paramètres statistiques			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max (mg/l)	Moy (mg/l)	Min (mg/l)	Ecart type
	24	3.10	0	3.53
Normes	Norme de potabilité : < 10 mg/L			

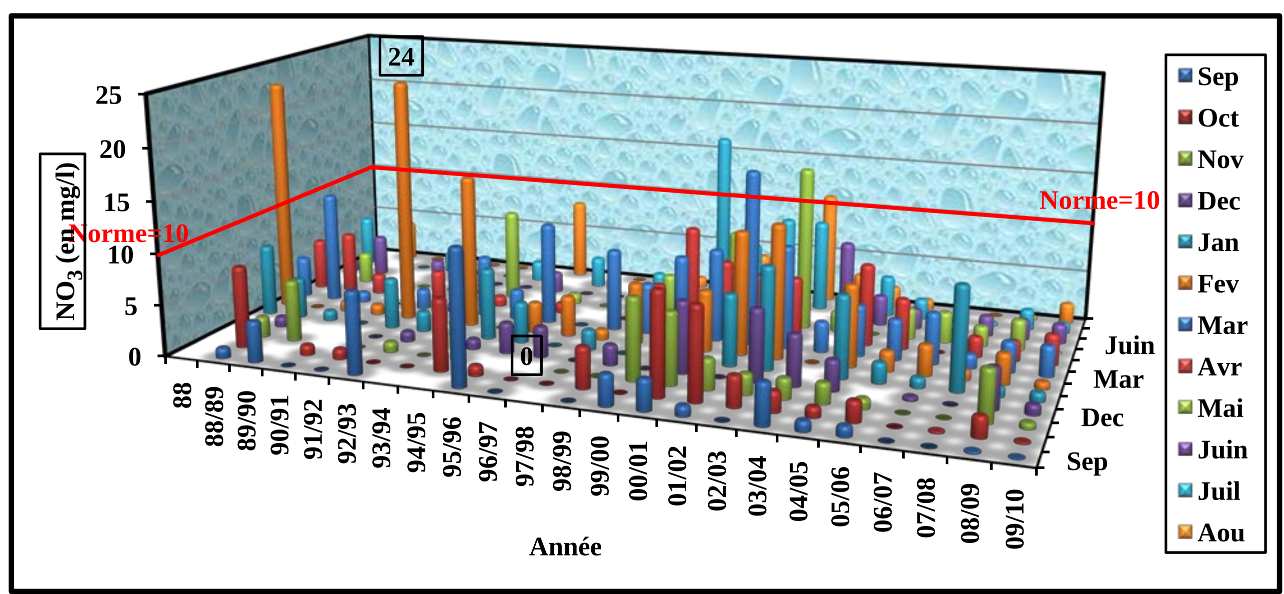


Fig. 97 : Histogramme des variations des teneurs en nitrates dans les eaux du barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

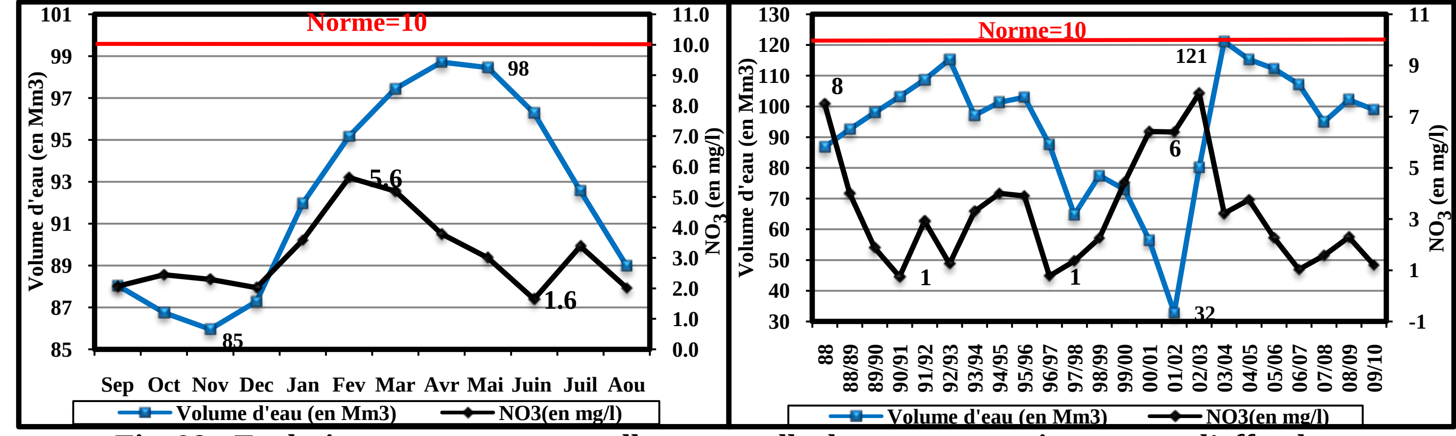


Fig. 98 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle des teneurs en nitrates sous l'effet du volume de l'eau dans le barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

A partir de ses graphes (Fig. 98), la concentration des eaux du barrage de Ain zada en teneur des nitrates (NO_3^-) est proportionnelle avec le volume global de l'eau du barrage. Elle augmente en période des hautes eaux surtout pendant les mois les plus pluvieuses : Février, Mars et Avril, cela est dû au lessivage des engrais utilisés dans l'agriculture et aux rejets urbains et même industriels. Cette concentration est diminuée pendant les années sèches.

2.1.2. Les nitrites ou azote nitreux :

L'azote nitreux (NO_2^-) représente une forme moins oxygénée et moins stable représentant ainsi la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium. Il s'agit d'une forme toxique. Les nitrites sont dues à l'effet de l'oxydation de la forme ammonium (Aghzar et al., 2001).

Les concentrations moyennes durant notre série d'observation montre une teneur moyenne en nitrites de 0.04 mg/l au niveau des eaux de la cuvette du barrage. Ces valeurs traduisent une qualité moyenne.

Tableau. 58 : Variations des teneurs en nitrites dans les eaux du barrage de Ain Zada

Paramètres	Paramètres statistiques			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max (mg/l)	Moy (mg/l)	Min (mg/l)	Ecart type
	0.85	0.04	0	0.07
Normes	Norme de potabilité OMS : 0.01 à 0.1 mg/l			

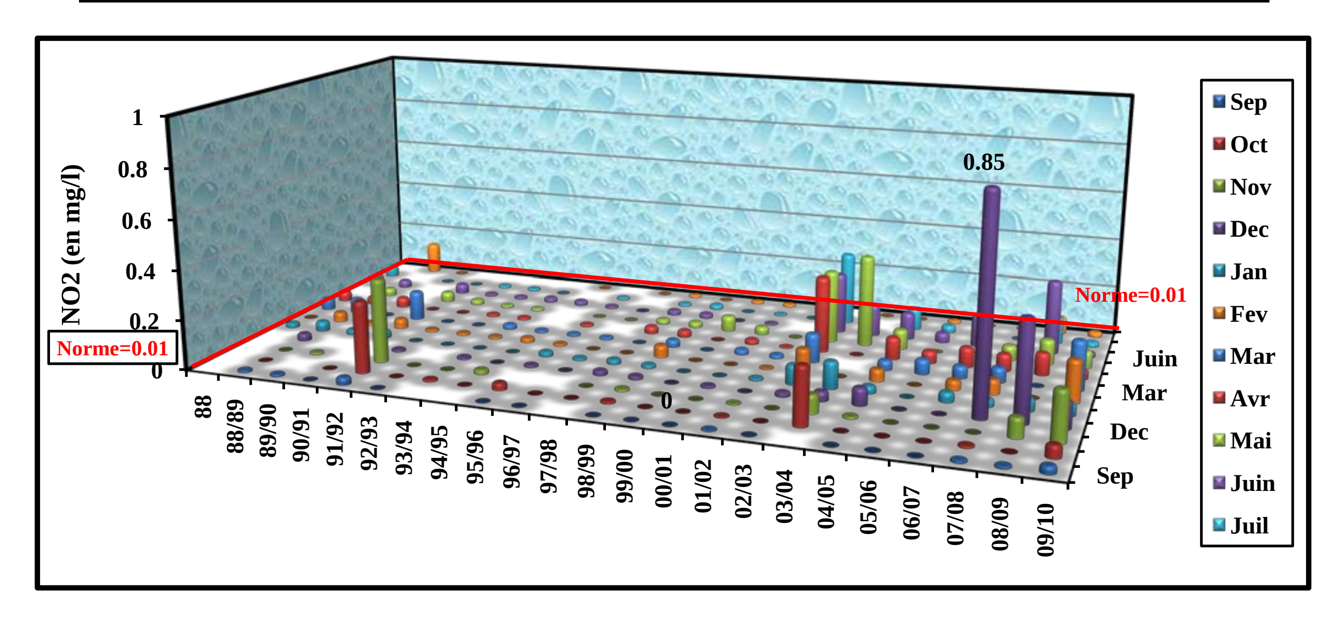


Fig. 99 : Histogramme des variations des teneurs en nitrites (NO_2^-) dans les eaux du barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

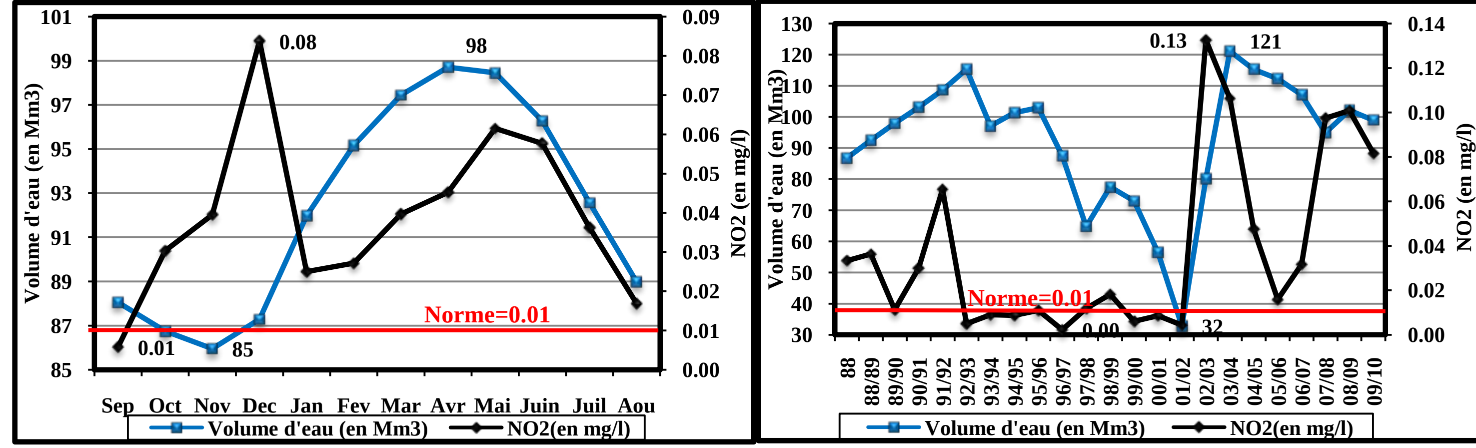


Fig. 100 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle des teneurs en nitrites (NO_2^-) sous l'effet du volume de l'eau dans le Barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

On remarque la présence des nitrites avec des fortes teneurs dépasse les normes dans l'eau du barrage pendent presque tous les mois de prélèvement, cela est dû au lessivage des engrais utilisés dans l'agriculture et aux rejets urbains et même industriels. La présence de ces éléments polluants en forte teneurs est due aux rejets urbains des différant villes et agglomérations chargés en éléments organiques et aux détergents utilisés dans les activités ménagères.

Les nitrites disparaissent, par la suite, pour donner naissance aux nitrates sous l'effet de la nitrification. La prestation de ces teneurs (nitrites) en pique pendant le mois de Décembre et l'année 2002/2003 est due au lessivage des oueds de tous les rejets solides et liquide stagnante pendant les périodes et les années sèches vers la cuvette.

2.1.3. L'Ammonium (NH_4^+) :

Radical monovalent agissant comme un métal alcalin dans les sels ammoniacaux. C'est la forme d'azote la plus toxique. Sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains et industriels dans les oueds qui alimentent le barrage qui donnent les concentrations les plus élevées.

La moyenne de l'ammonium durant cette série d'observation au niveau des eaux de la cuvette du barrage est de 0.13 mg/l, traduisent une moyenne à mauvaise qualité selon les normes de l'ANRH, (avec des concentrations élevées, atteint une valeur de 1.4 mg/l enregistrée au mois de janvier 2008).

On remarque aussi que la plus part des analyses mensuel en concentrations de l'ammonium est nulle, cela est due à une dilution de l'ammonium par les apports des oueds qui alimentent le barrage.

Tab.59 : Variations des teneurs en ammonium (NH_4^+) dans les eaux du barrage de Ain Zada

Paramètres	Paramètres statistiques			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max (mg/l)	Moy (mg/l)	Min (mg/l)	Ecart type
	1.4	0.13	0	0.22
Normes	Norme de potabilité OMS : 0.1 à 3 mg/l			

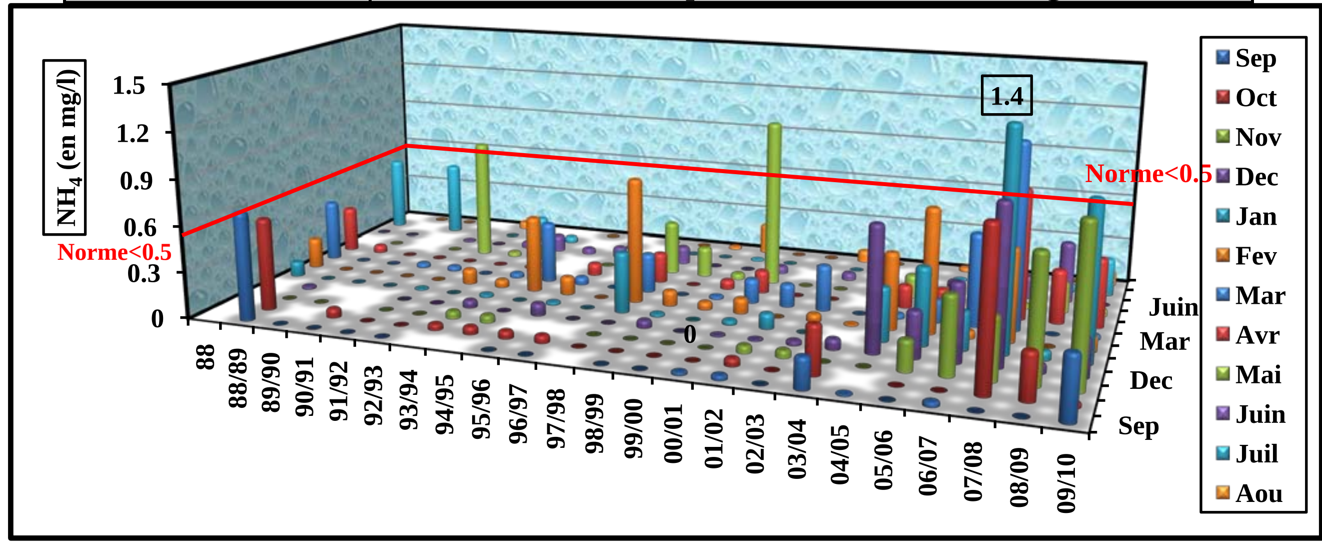


Fig. 101 : Histogramme des variations des teneurs en ammonium (NH_4^+) sous l'effet du volume de l'eau dans le barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

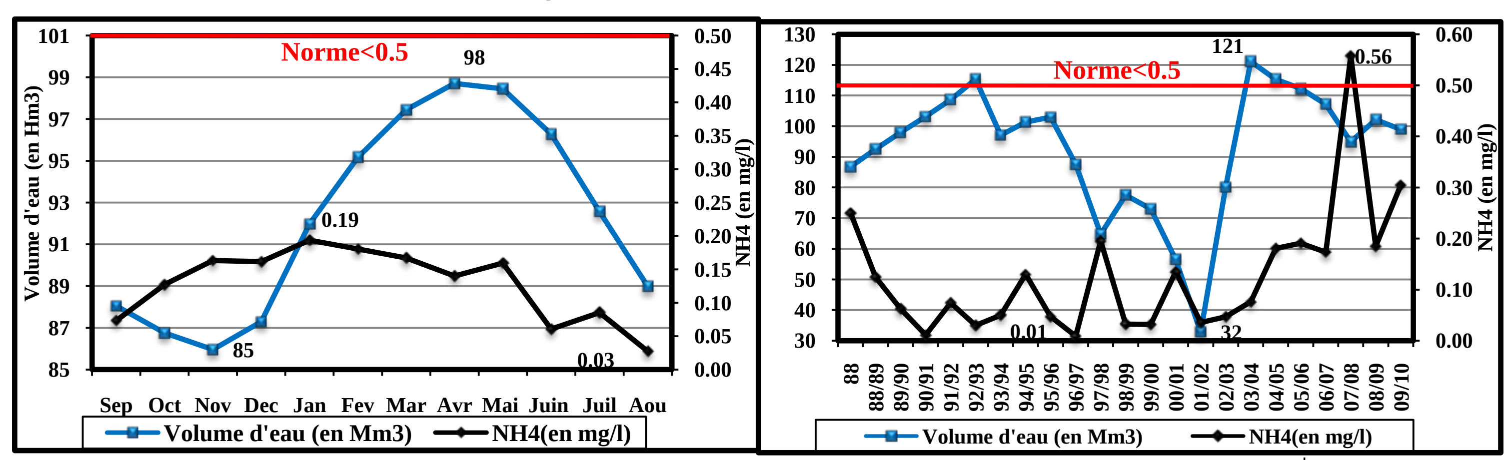


Fig. 102 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle des teneurs en ammonium (NH_4^+) sous l'effet du volume de l'eau dans le barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

Les concentrations considérables de nitrates pendant quelques années, telle que l'année 1997/1998 et toutes les dernières années de 2004/2005 jusqu'a nos jours dues principalement à la pollution urbaine et au lessivage des terres agricoles (épandage des engrais). On sait très bien que l'agriculture moderne emploie des engrais chimiques contenant de l'ammonium dans : la succession rapide des cultures, cycles végétatifs raccourcis, sols laissés à nu, etc., qui entraînent un lessivage de cette forme d'azote vers le sol et de là vers les cours d'eau puits vers la cuvette du barrage qui est l'exutoire du bassin. Il ne faut pas éliminer la probabilité que cette pollution peut avoir aussi une origine industrielle. Des problèmes apparaissent à partir d'une concentration de 0,1 mg NH_3/l qui marqué dans l'eau du barrage à partir du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai (période des hautes eaux). Cette augmentation est due au lessivage des terres agricoles (épandage des engrais) et à la pollution urbaine.

4.3.2.2. Cycle de l'Azote

Le cycle de l'azote est un processus de transformation de l'azote atmosphérique (N_2), un gaz inerte, en une forme assimilable pour les systèmes biologiques qui les restitueront à l'atmosphère sous forme de (N_2). Le cycle de azote est unique, car, même si azote constitue 80% de l'atmosphère terrestre.

Il se trouve surtout sous forme gazeuse (N_2) qui ne peut entre utilisée telle quelle par la grande majorité des organismes. Dans l'atmosphère, l'azote existe principalement sous forme d'azote gazeux, d'oxydes d'azote (N_2O, NO, NO_2) et d'ammoniac (NH_3). L'azote gazeux peut être produit par la dissociation d'oxyde nitreux (N_2O) et être détruit par suite de sa conversion en monoxyde d'azote (NO) par les décharges électriques lors des orages .L'oxyde nitreux (N_2O) peut également interagir avec un atome hautement réactif d'oxygène pour former NO et le dioxyde d'azote (NO_2). Un excès d'éléments nutritifs dans un écosystème peut entrainer une prolifération de la végétation et des modifications de la biodiversité. De plus, l'ammoniac, les nitrates et les nitrites sont toxiques pour les animaux aquatiques et terrestres, y compris homme, lorsque leurs concentrations dépassent les besoins. Ces derniers peuvent à leur tour réagir avec la vapeur d'eau pour former de l'acide nitrique (HNO_3). Une réaction entre deux radicaux ammoniacs et hydroxyde (OH^-) peut également entrainer la formation d'oxydes d'azote. Pour que l'azote circule dans le sol et la végétation, il faut que l'azote atmosphérique inerte soit converti en azote réactif. L'azote présent dans les sols, dans l'eau ainsi que dans le matériel animal et végétal était restitué à l'atmosphère par dénitrification. L'ammoniac était également libéré par volatilisation à partir de la végétation, des sols et des déchets d'origine animale, sous la forme d'un sous produit de la décomposition, et par suite de la combustion de biomasse. Les feux de forets, la combustion du charbon, produits pétroliers et le gaz, les produits d'échappement des voitures et les eaux usées provoquent une pollution des eaux de surface, souterraine, le smog urbain, les réchauffements suite à l'effet de serre et les pluies acides, (Fig. 103).

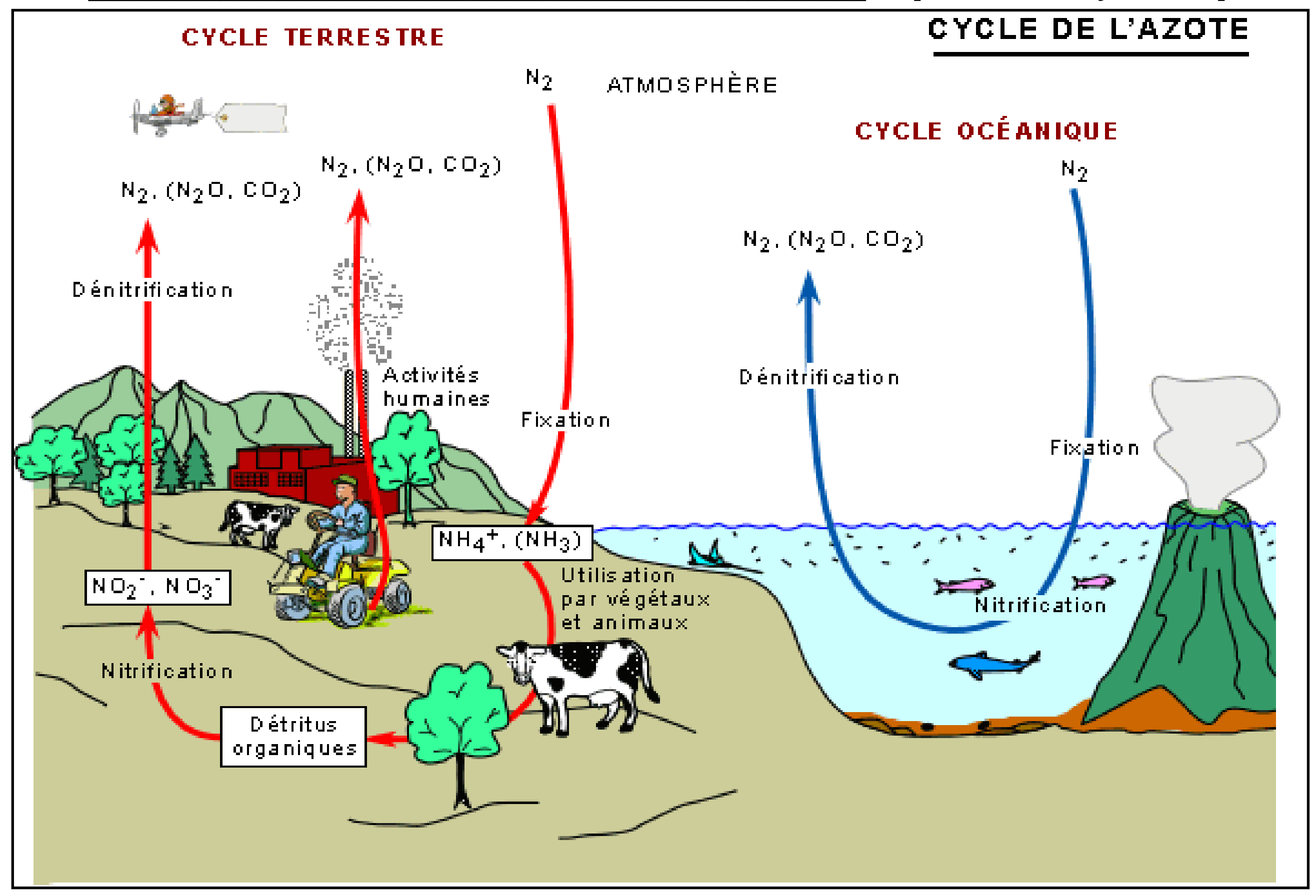


Fig. 103 : Cycle de l'azote dans la nature

4.3.3. Les éléments mineurs naturels :

4.3.3.1. Les phosphates :

Comme l'azote, le phosphate (PO_4^{-3}) est un élément essentiel à la vie aquatique car il est considéré comme étant un sel nutritif. Il peut se trouver sous différentes formes oxydées, méta HPO_3, pyro $H_4P_2O_7$ et ortho H_3PO_4. En milieu aqueux, les formes méta et pyro tendant vers la forme ortho pour des pH compris entre 5 et 8. Les réactions chimiques entre les différentes formes de phosphate sont données par :

$$PO_4^{3-} + 3H^+ \Leftrightarrow HPO_4^{3-} + 2H^+ \Leftrightarrow H_2PO_4^{3-} + H^+ \Leftrightarrow H_3PO_4 \text{......(6)}$$

L'origine de l'existence des phosphates dans les eaux du barrage de Ain Zada serait liée aux rejets urbains des villes de Sétif et Ain Taghrout et la dissolution des engrais chimiques (NPK). Dans les eaux de la cuvette du barrage sa teneur est variable, la plus élevée (1.1 mg/l) est observée au mois de février 1992. Les concentrations moyennes durant la série d'observation au niveau des eaux du barrage est de 0.19 mg/l, traduisent une moyenne a mauvaise qualité (selon l'ANRH).

La présence des phosphates dans les eaux du barrage entraîne un développement massif d'algues qui caractérise le phénomène d'eutrophisation

Tableau. 60 : Variations des teneurs en phosphates dans les eaux du barrage de Ain Zada

Paramètres	Paramètres statistiques			
Barrage de Ain zada Période 1988/2010	Max (mg/l)	Moy (mg/l)	Min (mg/l)	Ecart type
	1.1	0.19	0	0.19
Normes	Norme de potabilité OMS : 0.1 à 3 mg/l			

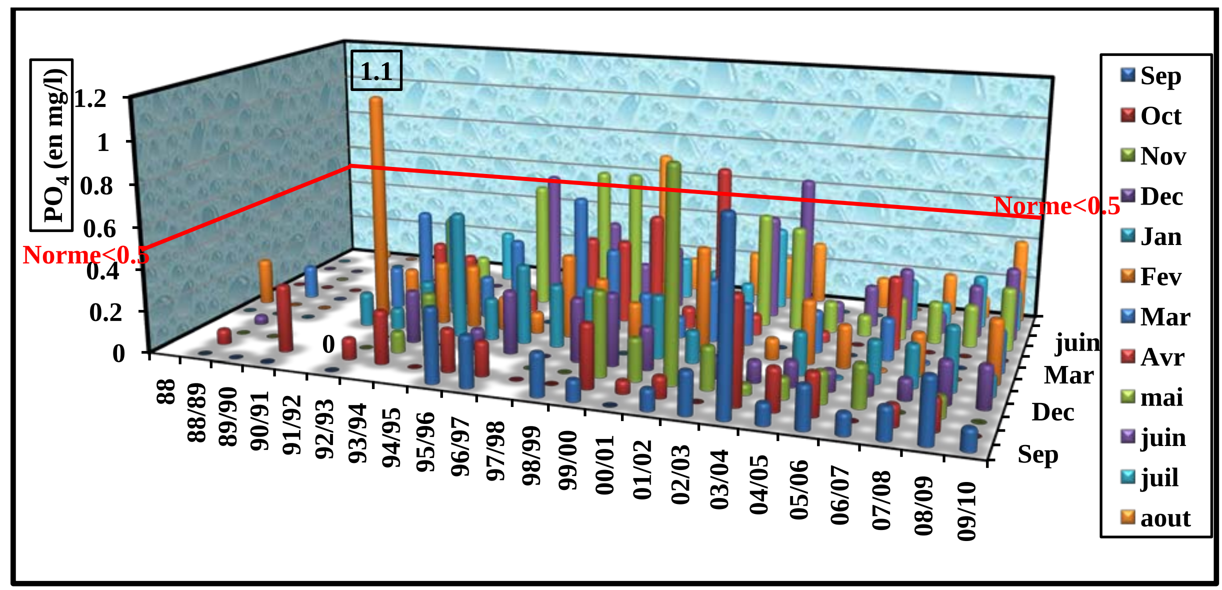


Fig. 104 : Histogramme des variations des teneurs en phosphates (PO_4^{-3}) dans les eaux du Barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

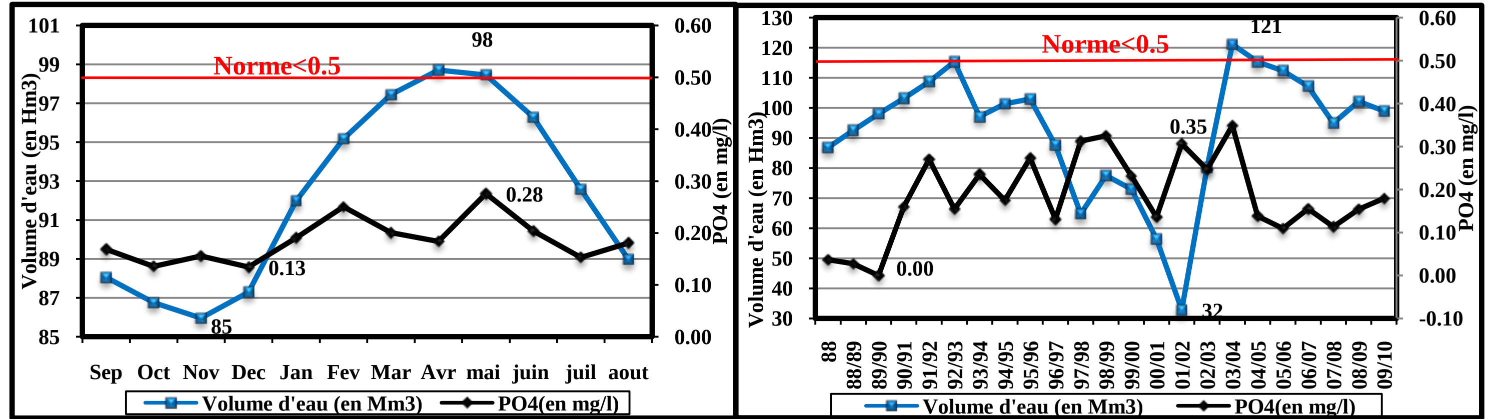


Fig. 105 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle des teneurs en phosphates (PO_4^{-3}) sous l'effet du volume de l'eau dans le Barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

Les graphes (Fig. 105), montrent que la présence de fortes concentrations pour toutes ces périodes sont liées aux apports d'engrais surtout au mois de Mai et Juin et aux rejets urbains et des eaux stagnantes dans les oueds qui alimentent le barrage ainsi qu'à la précipitation des minéraux phosphatés (Apatite) par leurs faible solubilité dans un milieu réducteur chargé en sels minéraux.

4.4. Evolution des paramètres chimiques (NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+, PO_4^3), la Matière Organique, DCO, DBO_5, et l'oxygène dissous sous l'effet du volume de l'eau dans le Barrage de Ain Zada période (1988/2010)

A partir de l'observation des différents courbes des paramètres chimiques (Fig.106) sur la période 1988-2010, on remarque que le volume de l'eau du barrage évolue inversement aux majorité des éléments polluants (effet de dilution) et que les valeurs de la matière organique et de la DCO sont très élevé dans les eaux du barrage de Ain zada par apport au norme durant toute les années de prélèvement. L'évolution est inversement proportionnelle avec l'oxygène dissous et avec le volume de l'eau de la cuvette, cela est dû à l'évaporation qui engendre une concentration des éléments chimiques issus du déversement des rejets urbains, industriels et au lessivage et l'épandage d'engrais des sols agricoles. Même les nitrates et les phosphates sont aussi croient inversement avec l'oxygène dissous et à l'ammonium au niveau de toutes les années de prélèvement des eaux du barrage. On peut expliquer cela par une nitrification de l'azote en nitrate.

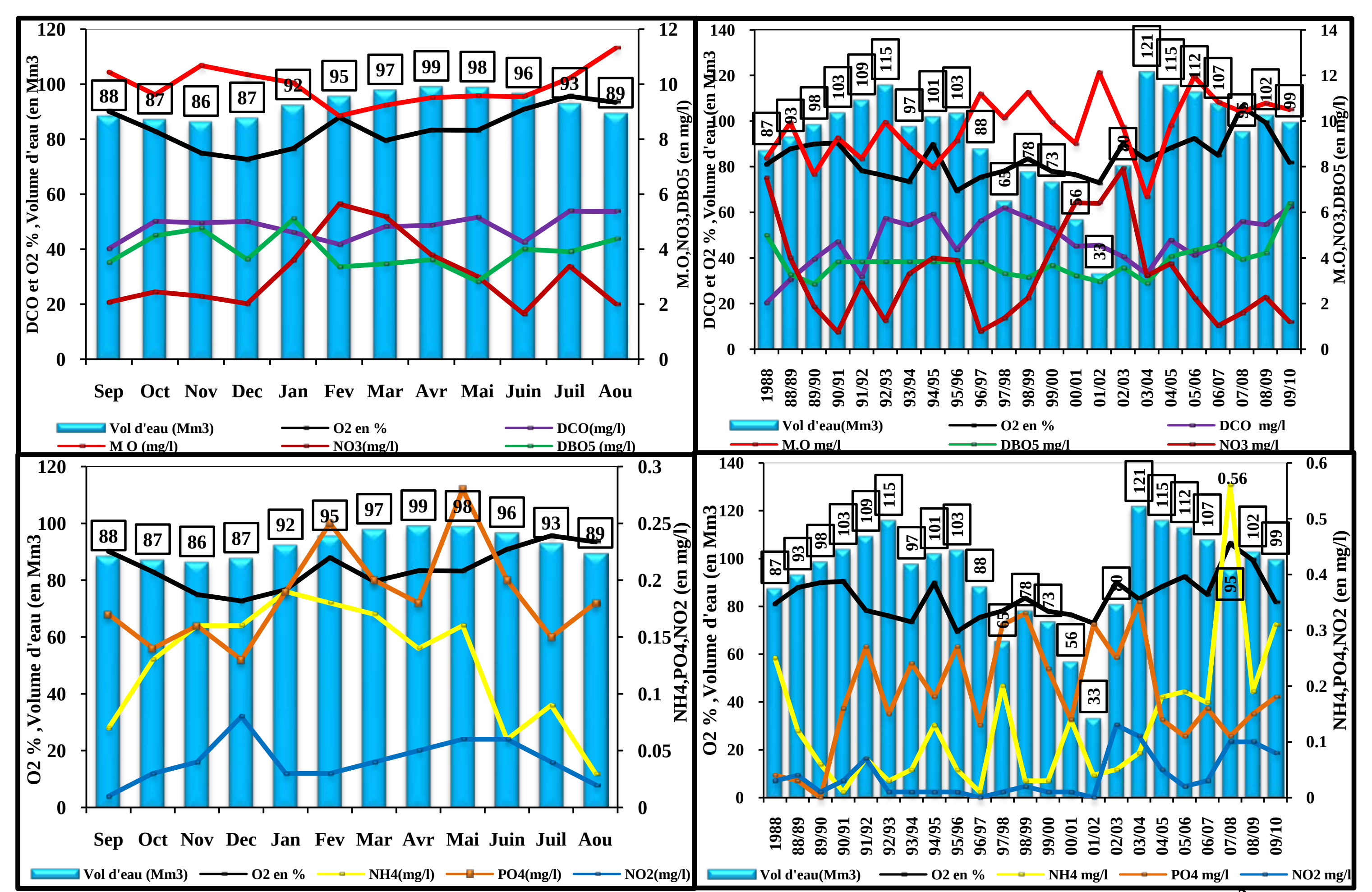


Fig.N°106:Evolution moyennes mensuelle et annuelle des teneurs en NO_3^-,NO_2^-,NH_4^+,PO_4^{3} M.Org, DCO,DBO_5 et de l'oxygène dissous O_2) sous l'effet du volume de l'eau dans le Barrage de Ain Zada période (1988/2010 D'après l'ANRH)

On remarque aussi que la présence des nitrates avec des fortes teneurs par apports aux autres nutriments sont liés directement aux rejets des eaux usées domestiques des villes telle que Sétif, Ain Taghrout, et aux eaux d'irrigation ruisselées par épandage des engrais des terrains agricole au voisinage du barrage. Aussi à la transformation des nitrites (qui se trouvent avec des grandes quantités aux nitrates sous l'effet de la nitrification.

Le déficit en oxygène paralyse les bactéries aérobies et active les bactéries anaérobies (en particulier les mauvaises bactéries, capables de transformer les nitrates en nitrites et en composés ammoniacaux). Alors que pendant les périodes des hautes eaux on a constaté que lorsque le milieu est oxydant les différents éléments (NO_2^-, NH_4^+ et PO_4^{3-}) sont présentés sous de faibles teneurs et cela le milieu est mieux oxygéné par les apports des autres affluents ce qui engendre une transformation de l'azote en nitrates par les bactéries aérobies. Ces bactéries assurent la biodégradation des matières organiques sous l'effet d'oxydation.

Les concentrations en oxygène dans l'eau de la cuvette sont peu variables, elles augmentent inversement avec les nitrates, l'ammonium et les phosphates. Les graphes montrent que l'oxygène dissous se présente sous de forte teneur pendant la période chaude (été), cette augmentation est due peut être à la forte activité photosynthétique des algues qui se développent pendant l'été dans les eaux de la cuvette du barrage, Les rejets domestiques contribuent à la diminution de la teneur en oxygène, ce dernier étant consomme par les microorganismes pour dégrader la matière organique.

La DCO augmente durant la période des basses eaux, car les éléments chimiques demandent un taux d'oxygène considérable pour leur dégradation. La DBO_5 et la DCO évoluent parallèlement au moment où le volume de l'eau évolue inversement par rapport à la conductivité

En résume, La chimie des eaux du barrage subit une augmentation brutale de ces dernière années de certains paramètres de pollution tell que la DCO, la DBO_5, l'ammonium et du phosphate et une diminution remarquable des teneurs en oxygène. Cette dernière peut s'expliquer par une augmentation de la population bactérienne ; la consommation d'oxygène devient trop importante et son renouvellement n'est plus assuré ni par la photosynthèse ni par la diffusion de l'oxygène provenant de l'atmosphère dans l'eau.

4.5. Eléments métalliques en traces :

Les districts miniers de terrains métallifères par l'exploitation et les différents facteurs climatologiques, amène en surface des masses de déchets riches en sulfures et autres éléments. Ces derniers s'oxydent au contact des eaux de pluie, riches en oxygène, pour former des solutions transportant des sulfates et des métaux toxiques. Les réactions d'oxydation sont catalysées par des bactéries qui utilisent l'énergie des réactions chimiques et qui se sont adaptées aux eaux acides de ces milieux extrêmes.

Ces phénomènes sont une source importante de contamination des eaux de surface par des métaux lourds qui peuvent s'étendre pour affecter la santé publique même à long terme, et provoquer un déséquilibre de l'écosystème.

La zone industrielle de Sétif qui comporte plusieurs unité métallurgique situe on amont du bassin versant, beaucoup d'indices témoignent de la présence de l'As, Pb, Hg et d'autres éléments Sur cette base, L'ANRH de Constantine fait le suivi et l'analyse de certain éléments chimiques toxiques et métalliques telle que (Pb, Fe^{2+} , Mn^{2+}, Cu^{2+},Zn^{2+}) Pour les eaux du barrage de Ain zada uniquement de ces derniers dix années (période 2000 à 2010 et même avec des lacunes d'analyse de plusieurs mois. On va essais d'interprété et voir la potabilité des eaux du barrage à partir de ces résultats d'analyse de l'ANRH est qui sont fait des prélèvements dans la partie supérieure des eaux de la cuvette.

4.5.1. Fer :

La présence de fer (Fe^{2+}) dans l'eau peut avoir une origine naturelle (lessivage des terrains argileux) ou industrielle (dans les industries métallurgiques ou sidérurgiques). Les concentrations de la teneur en Fer la plus élevées dans l'eau du barrage de Ain zada est observé au mois de Septembre 2002 de l'ordre de 2.201 mg/l, et une moyenne en teneur de Fer durant ces dernier dix années de 0.251mg/l.

Tableau. 61 : Variations des teneurs en Fer (Fe^{2+}) dans les eaux du barrage de Ain Zada

Paramètres	Paramètres statistiques			
Barrage de Ain zada Période 2001/2010	Max (mg/l)	Moy (mg/l)	Min (mg/l)	Ecart type
	2.201	0,251	0	0,382
Normes	Norme de potabilité OMS : 0.2 mg/l			

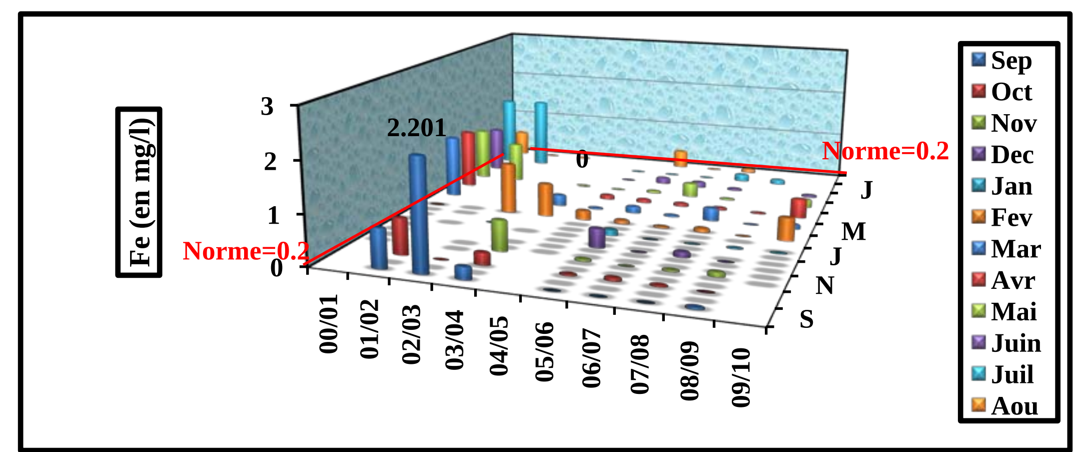


Fig. 107 : Histogramme des variations des teneurs en Fer (Fe^{2+}) dans les eaux du Barrage de Ain Zada (Période : 2000-2010, d'après l'ANRH)

On remarque que l'augmentation de la concentration des eaux de la cuvette du barrage de Ain zada en teneur de fer est inversement proportionnelle avec le volume globale de l'eau du barrage, elle augmente en période de basses eaux et des années sèches surtout l'année 2002 qui caractérise par une forte sécheresse et diminués en période des hautes eaux et les années humides (phénomène de dilution) (Fig. 108).

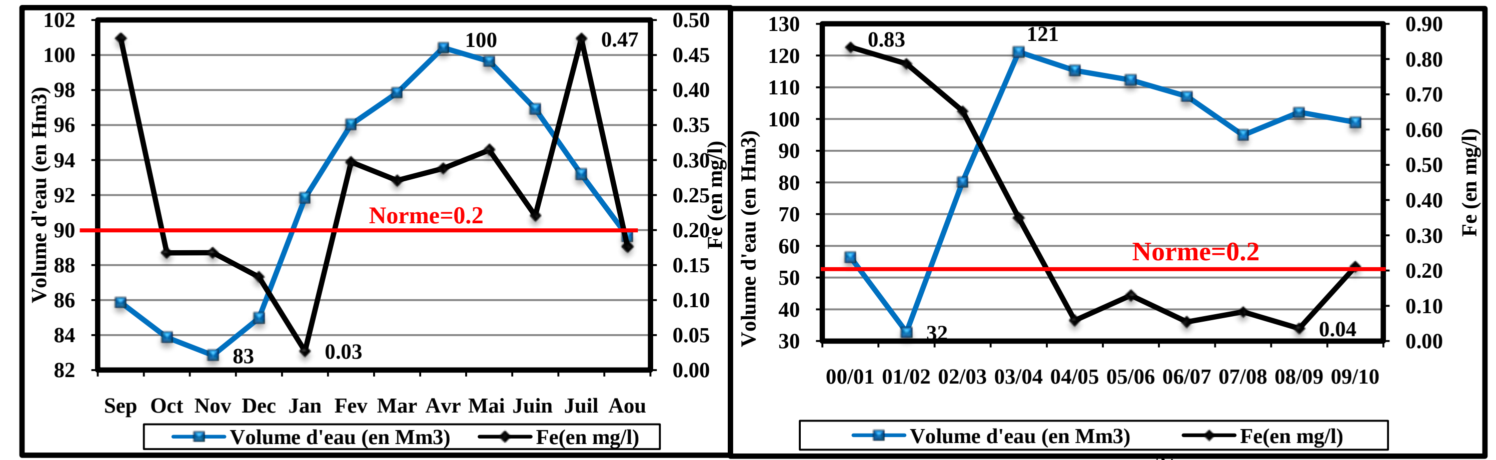


Fig. 108 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle des teneurs en Fer (Fe^{2+}) dans les eaux du Barrage de Ain Zada (Période : 2000-2010, d'après l'ANRH)

4.5.2. Manganèse :

Il est très répandu dans la nature, les concentrations dans l'écorce terrestre varient de 500 à 900 mg/kg. Les minerais les plus connus sont la pyrolusite, la rhodocrosite, la braunite. La présence du manganèse (Mn^{2+}) dans l'eau, du point de vue industriel, est liée à la métallurgie, l'industrie électrique et l'industrie chimique. Dans les eaux bien aérées, les concentrations de cet élément sont souvent faibles. En revanche dans les eaux peu aérées, on observe de fortes concentrations. Le manganèse peut apparaître dans l'eau à un potentiel Redox plus élevé.

En remarque que les concentrations les plus élevées sont observées au niveau des eaux de la cuvette du barrage au mois de Juillet 2002 avec des concentrations qui atteignent 0.56 mg/l. La moyenne durant les dix ans d'observation (2000-2010) est de 0.086 mg/l.

Tabl. 62 : Variations des teneurs en Manganèse (Mn^{2+}) dans les eaux du barrage de Ain Zada

Paramètres	Paramètres statistiques			
Barrage de Ain zada Période 2001/2010	Max (mg/l)	Moy (mg/l)	Min (mg/l)	Ecart type
	0.56	0.08	0	0.086
Normes	Norme de potabilité OMS : 0.05mg/l			

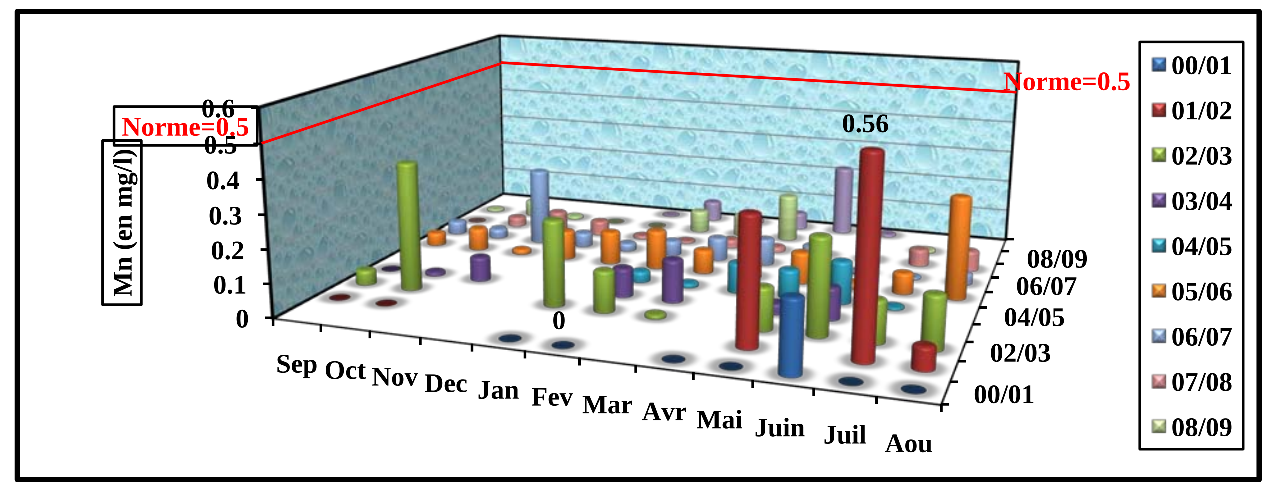


Fig. 109:Histogramme des variations des teneurs en Manganèse (Mn^{2+}) dans les eaux du Barrage de Ain Zada (Période : 2000-2010, d'après l'ANRH)

On remarque aussi que l'augmentation de la concentration des eaux de la cuvette du barrage de Ain zada en teneur de manganèse (Mn^{2+}) est inversement proportionnelle avec le volume global de l'eau du barrage. Elle augmente en période de basses eaux et des années sèches. Elle est remarquable pour l'année 2002 qui caractérise par une forte sécheresse.

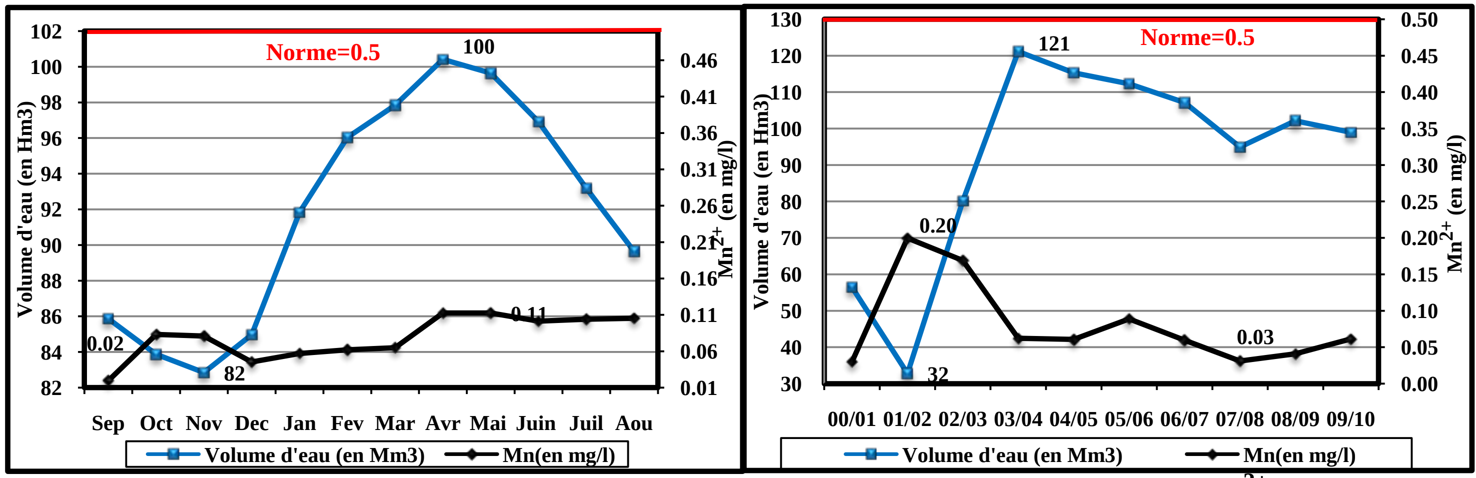


Fig. 110 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle des teneurs en Manganèse (Mn^{2+}) dans les eaux du Barrage de Ain Zada (Période : 2000-2010, d'après l'ANRH)

4.5.3. Zinc :

Le zinc **(Zn^{2+})** est un métal très répandu sur le globe. Il entre dans les alliages, la galvanisation des pièces métalliques et dans la fabrication des pigments pour la teinture. Les concentrations sont inférieures à la norme du CEE, l'OMS et Algérienne pour les eaux de surface, fixée à 5 mg/l.

La valeur maximale du zinc est de 0.271 mg/l marqué au mois de Mars 2003, et d'une moyenne durant cette période de 0.025mg/l.

Tableau. 63: Variations des teneurs en Zinc (Zn^{2+}) dans les eaux du barrage de Ain Zada

Paramètres	Paramètres statistiques			
Barrage de Ain zada	Max (mg/l)	Moy (mg/l)	Min (mg/l)	Ecart type
Période 2001/2010	0.271	0.025	0	0.044
Normes	Norme de potabilité OMS : 1 à 5 mg/l			

Fig. 111 : Histogramme des variations des teneurs en Zinc (Zn^{2+}) dans les eaux du Barrage de Ain Zada (Période : 2000-2010, d'après l'ANRH)

L'augmentation de la concentration des eaux de la cuvette du barrage de Ain zada en teneur de Zinc est inversement proportionnelle avec le volume global de l'eau du barrage. Elle augmente en période de basses eaux et des années sèches (très remarquable à l'année 2002 qui caractérise par une forte sécheresse), par contre on remarque une augmentation aux mois Mars, Avril et Mai où il ya une augmentation de ces teneur, due au lessivage des oueds par les forte précipitations durant cette période (Fig.112).

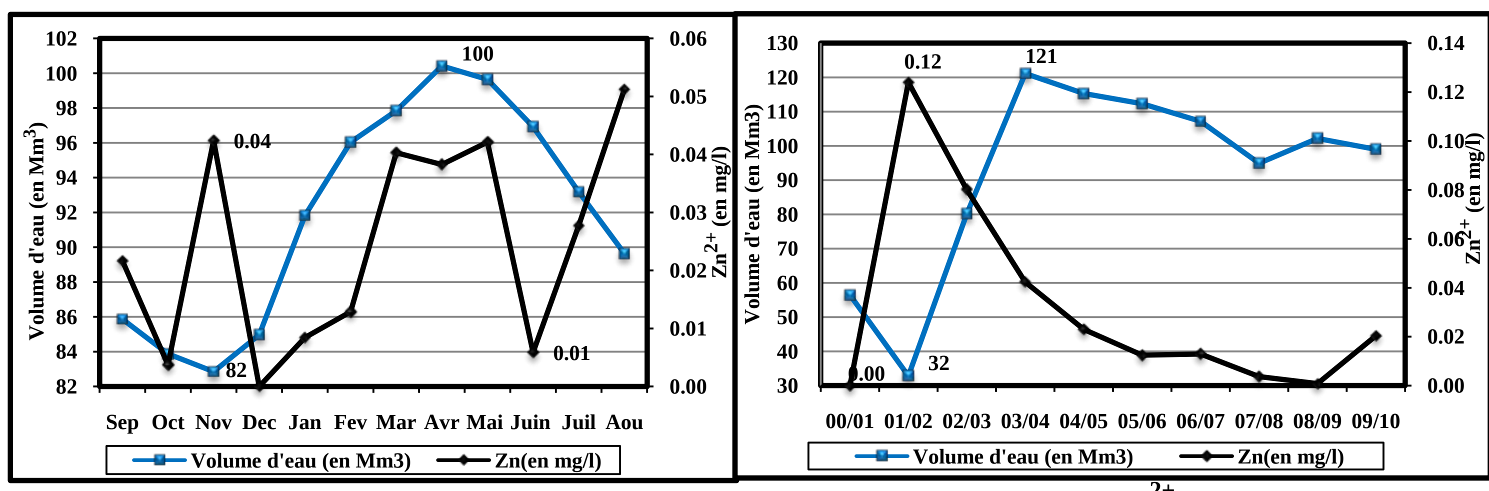


Fig. 112: Evolution moyennes mensuelle et annuelle des teneurs en Zinc (Zn^{2+}) dans les eaux du barrage de Ain Zada (Période : 2000-2010, d'après l'ANRH)

4.5.4. Cuivre :

Il est très employé dans les alliages (laiton, bronze, maillechort), l'industrie électrique, le traitement de surface, la galvanoplastie ainsi que dans les traitements agricoles Les teneurs en cuivre (Cu^{2+}) dans les eaux du barrage de Ain Zada sont faibles. Mais en remarque une valeur de 6 mg/l est observée au mois de septembre 2002 (peut être est due à une pollution durant ce mois ou une mauvaise conservation de l'échantillon ou même à un problème du matériel d'analyse). La moyenne est de 0.10 mg/l

Tableau. 64 : Variations des teneurs en Cuivre (Cu^{2+}) dans les eaux du barrage de Ain Zada

Paramètres	Paramètres statistiques			
Barrage de Ain zada Période 2001/2010	Max (mg/l)	Moy (mg/l)	Min (mg/l)	Ecart type
	6	0.10	0	0.22
Normes	Norme de potabilité OMS : 0.05 à 1.5 mg/l			

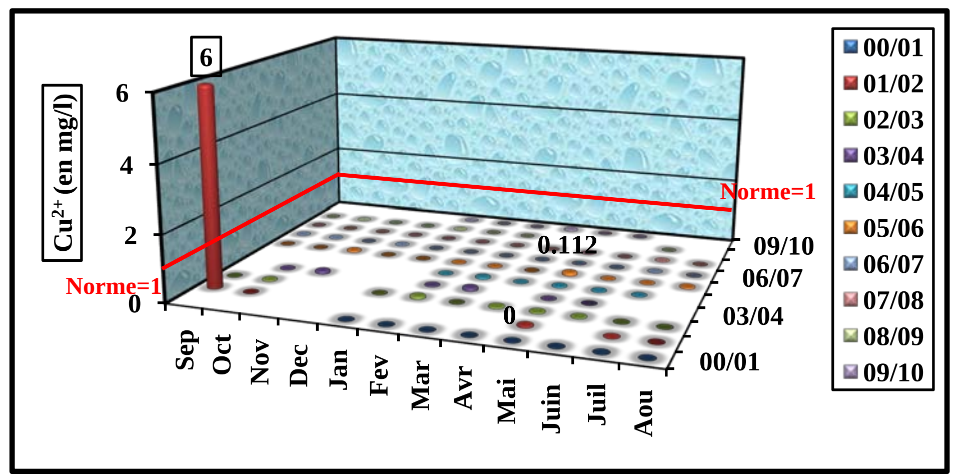


Fig. 113: Histogramme des variations des teneurs en Cuivre (Cu^{2+}) dans les eaux du barrage de Ain Zada (Période : 200-2010, d'après l'ANRH)

A partir des graphes ci-dessous (Fig. 114), on remarque que l'augmentation de la concentration des eaux de la cuvette du barrage de Ain zada en teneur de Cuivre (Cu^{2+}) est inversement proportionnelle avec le volume global de l'eau du barrage. Elle augmente en période de basses eaux et des années sèches (maximale en 2002). Contrairement, elle diminue dans les années humides et forte pluviosité.

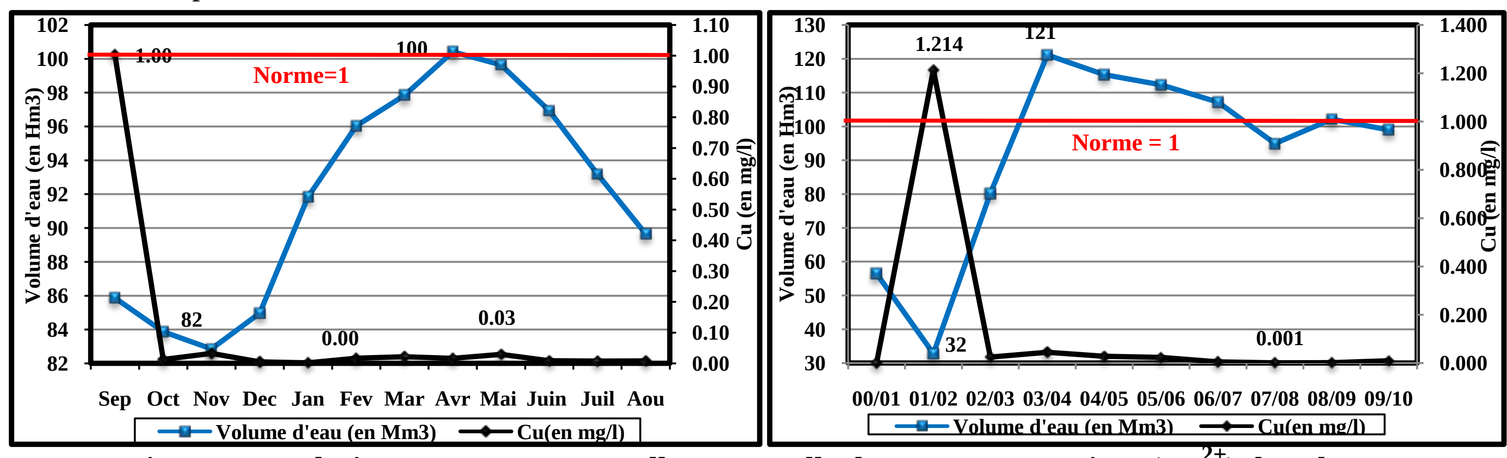


Fig. 114 : Evolution moyennes mensuelle et annuelle des teneurs en Cuivre (Cu^{2+}) dans les eaux du barrage de Ain Zada (Période : 1988-2010, d'après l'ANRH)

4.5.5. Plomb :

Le plomb (Pb^{2+}) se présente sous la forme de sulfures (galène), de carbonates (cérusite) et phosphates (pyrophosphite). Dans l'industrie, on le trouve dans la fabrication des accumulateurs acides, de la soudure et des pigments.

Dans notre bassin, la source principale du Pb est l'unité de la fabrication des batteries de la zone industrielle de Sétif.

Pour ce paramètre, l'ANRH n'a pas faites des analyses pour une période bien déterminée mais seulement pour quelques mois de l'année de 2002. Les résultats montrent une valeur maximal de 0.3 mg/l enregistrée au mois d'Avril et une moyenne de 0.045 mg/l, se qui traduit que la concentration des eaux du barrage en Pb dépasse les normes de l'O.M.S (donc une pollution des eaux par cet élément).

Tableau. 65 : Variations des teneurs en Plomb (Pb^{2+}) dans les eaux du barrage de Ain Zada

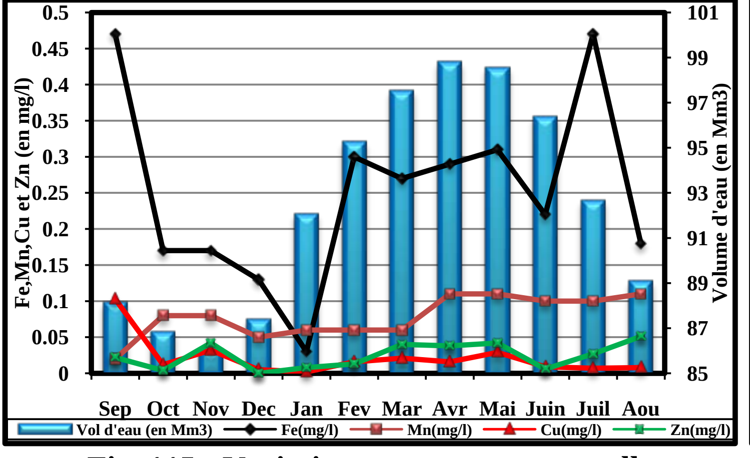
Paramètres	Paramètres statistiques			
Barrage de Ain zada Période 2001/2010	Max (mg/l)	Moy (mg/l)	Min (mg/l)	Ecart type
	0.3	0.045	0	0.021
Normes	Norme de potabilité OMS : 0.05mg/l			

4.6. Evolution temporelle des éléments métalliques en traces période 2000-2010

La figure ci-dessous montre que la concentration de ces métaux dans les eaux du barrage de Ain zada dépasse les normes de l'O.M.S, où elle atteint le maximum pendant l'année hydrologique 2002, avec des valeurs maximal observée aux mois les plus sèche (Juillet, Aout et Septembre), où Cu = 6 mg/l, Fe = 2.20 mg/l, Zn = 0.27 mg/l, Mn=0,56 mg/l et Pb=0.3 mg/l. C'est l'année la plus sèche de cette période d'étude où le volume d'eau du barrage atteint leur minimum (voir 19 Mm^3 et un niveau minimum de la hauteur d'eau de la cuvette), tandis que les faibles concentrations sont remarquées pendant l'année 2004 (année la plus humide).

En général, les teneurs des quatre métaux (Fe, Cu, Zn et Mn) dépassent les normes de l'O.M.S.

En résume, ce barrage et concernant ces métaux, il présente une contamination dépassant d'une manière considérable la limite de toxicité tolérée.



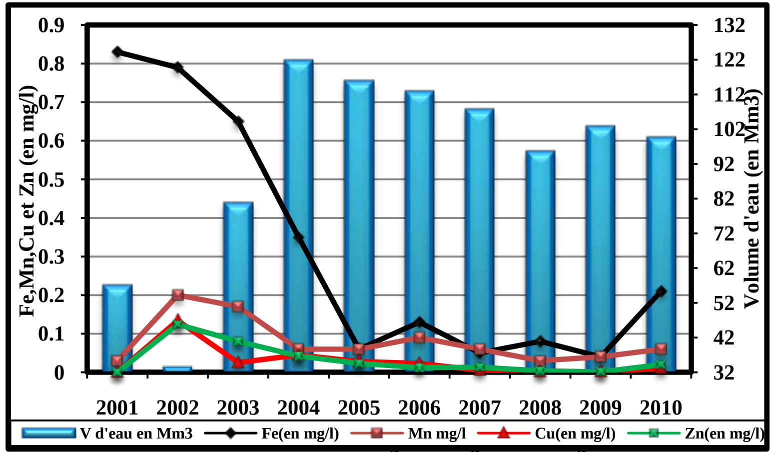


Fig. 115 : Variations moyennes mensuelle et annuelle des teneurs en Fe^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+} et Mn^{2+} sous l'effet du volume de l'eau dans le barrage de Ain Zada(Période :2000-2010,d'après l'ANRH)

Les teneurs excessives de ces métaux rencontrées dans les eaux du barrage de Ain zada sont le résultat indéniable d'une contamination ne pouvant provenir que des anciennes mines de zinc et de fer de Djebel Zdimm (due au lessivage des deux anciennes gisements). Aussi, cette pollution est due à la présence des rejets des usines de la zone industrielle de Sétif (tel que l'unité de fabrication des batteries), qui rejette directement son réseau dans l'oued Guellal (affluent de l'oued Boussellam qui dirige directement vers le barrage de Ain zada.

On conclue que les eaux du barrage de Ain zada présentent une pollution par ces métaux et un risque permanent important. Vu l'accroissement de la demande en eau dans le bassin versant de Boussellam et ces environs, la mise en place des périmètres de protection autour de ces sites devient indispensable et urgente.

5 - Facies chimiques et classification des eaux du barrage de Ain zada

Dans le but de bien appréhender l'évolution de la qualité des eaux des barrages, on a pris en considération les résultats des analyses chimiques effectuées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H) régionale de Constantine. Les données ont portées sur une période de 23 années (1988-2010) pour le barrage de Ain zada.

La concentration annuelle dans notre étude représente la moyenne des valeurs enregistrées durant une année (12 prélèvements par année, c.-à-d. Un prélèvement par mois).

5.1. Classification de STABLER

Afin de vérifier la fiabilité des analyses, on a vérifié les résultats obtenus en établissant la balance ionique pour chaque analyse. Nous avons établi la formule ionique, dans ce cas les concentrations (exprimées en me/l) sont réduites en quantité en réaction pour cent (r %) calculées par le rapport à la concentration totale. Ces concentrations sont exprimées par la formule caractéristique (ou formule ionique) où sont classées de gauche à droite, par ordre décroissant. Les quantités en réactions en pour cent des anions ensuite des cations. A partir de ces formules ioniques, découle le faciès chimique spécifique pour chaque année hydrologique. (Voir tableau. 66).

Tableau.66 : Classification des eaux du barrage de Ain zada d'après STABLER

N°	Année	Bal ionique	Formule ionique		Faciès chimique
01	1988	0.3	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r%Ca^{2+} > r% (Na+K) $^{2+}$ > r% Mg^{2+}	Chloruré - Calcique
02	1989	3.17	r%SO_4^{2-} > r% Cl^- > r%HCO_3^-	r%Ca^{2+} > r% (Na+K) $^{2+}$ > r% Mg^{2+}	**Sulfaté - Calcique**
03	1990	0.27	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+} > r% Mg^{2+}	Chloruré - Sodique
04	1991	1.81	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+} > r% Mg^{2+}	Chloruré - Sodique
05	1992	2.47	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+} > r% Mg^{2+}	Chloruré - Sodique
06	1993	1.44	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+} > r% Mg^{2+}	Chloruré - Sodique
07	1994	0.24	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+} > r% Mg^{2+}	Chloruré - Sodique
08	1995	1.88	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+} > r% Mg^{2+}	**Sulfaté - Sodique**
09	1996	2.92	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+} > r% Mg^{2+}	Chloruré - Sodique
10	1997	1.53	r% Cl^- > r%HCO_3^- > r%SO_4^{2-}	r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+} > r% Mg^{2+}	Chloruré - Sodique
11	1998	1.23	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+} > r% Mg^{2+}	Chloruré - Sodique
12	1999	0.46	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+} > r% Mg^{2+}	Chloruré - Sodique
13	2000	0.6	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+} > r% Mg^{2+}	Chloruré - Sodique
14	2001	0.41	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+} > r% Mg^{2+}	Chloruré - Sodique
15	2002	5.92	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% Mg^{2+} > r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+}	Chloruré - Magnésien
16	2003	11.74	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% Mg^{2+} > r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+}	Chloruré - Magnésien
17	2004	00	r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^- > r% Cl^-	r%Ca^{2+} > r% (Na+K) $^{2+}$ > r% Mg^{2+}	**Sulfaté - Calcique**
18	2005	0.35	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+} > r% Mg^{2+}	Chloruré - Sodique
19	2006	0.66	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+} > r% Mg^{2+}	Chloruré - Sodique
20	2007	1.21	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+} > r% Mg^{2+}	Chloruré - Sodique
21	2008	0.61	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+} > r% Mg^{2+}	Chloruré - Sodique
22	2009	2.74	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+} > r% Mg^{2+}	Chloruré - Sodique
23	2010	0.43	r% Cl^- > r%SO_4^{2-} > r%HCO_3^-	r% (Na+K) $^{2+}$ > r%Ca^{2+} > r% Mg^{2+}	Chloruré - Sodique

L'interprétation des résultats des analyses chimiques des eaux du barrage de Ain zada révèle un faciès dominant. C'est le faciès chloruré – Sodique à Magnésien, représentant 86% des échantillons.

On remarque aussi sur le tableau 66, que au début de cette série en 1989, le faciès de l'eau est de type Chloruré-Calcique, mais, il devient Sulfaté-Calcique en 1989, alors que depuis l'année 1990 et jusqu'à nos jours le faciès des eaux de la cuvette du barrage de Ain zada est de type Chloruré-Sodique. Néanmoins pour les années 1995 et 2004, le facies de l'eau est Sulfaté-Sodique et Sulfaté-Calcique respectivement. Les deux années 2002 et 2003 le faciès de l'eau est de type Chloruré-Magnésien.

5.2 Représentation graphique des résultats :

5.2.1. Diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper permet de visualiser sur le triangle des anions ou des cations des échantillons analysés et de définir non seulement leur faciès grâce aux éléments major, mais de suivre également leur évolution dans le temps. La représentation des concentrations et exprimée en pourcentage.

La représentation des données de l'analyse de l'eau du barrage de Ain zada sur le diagramme de Piper (Fig. 116), permis de distinguer un seul faciès chimiques de type chloruré et sulfaté calcique et magnésienne durant toute cette période d'étude (1988-2010), sauf pour les deux années 1992 et 2008 où l'eau devint à un facies de type chloruré sodique et potassique.

5.2.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff :

Ce diagramme comporte une échelle logarithmique sur laquelle on porte les teneurs des principaux ions en (mg/l) sur l'axe des abscisses. On porte de gauche à droite, à intervalle régulier (Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^{+}+K^{+}, Cl^{-}, SO_4^{-}, HCO_3^{-}), les points reportés sont ensuite reliés par une ligne brisée qui facilite la comparaison des résultats de l'analyse de l'eau d'un ensemble d'échantillons.

D'une manière générale, l'allure des courbes brisée (Fig. 117), montre que les faciès de l'eau du barrage sont de type Chloruré sodique et potassique pour l'ensemble des années du période d'étude (1988-2010). Indemne les années 1995 et 2004 où ce facies transforme respectivement à un faciès Sulfaté-Sodique et Sulfaté-Calcique et les années 2002 et 2003 à un faciès de type Chloruré-Magnésien.

5.2.3. Diagramme de Stiff :

Ce genre de diagramme permet d'obtenir une figure géométrique polygonale caractéristique d'une famille d'eau donnée. Les données d'analyse des ions majeurs sont reportées sur des axes horizontaux de part et d'autre de l'axe vertical d'origine. Les cations sont représentés à gauche (Na^{+}+ K^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+} et les anions à droite (Cl^{-}, HCO_3^{-} + CO_3, SO_4^{2-}, NO_3).

La représentation de ces vingt trois analyses moyenne annuel des eaux du barrage de Ain zada n'est en fait qu'une illustration des résultats obtenus avec le diagramme de Piper c'est-à-dire, un seul faciès chimiques de type Chloruré et Sulfaté calcique et magnésienne durant toute cette période d'étude, sauf pour les deux années 1992 et 2008 où l'eau devint à un facies de type Chloruré sodique st potassique (Fig.118).

Par ailleurs, il faut noter que le diagramme de Stiff permet une lecture facile des caractéristiques chimiques de l'échantillon mais également une localisation aisée.

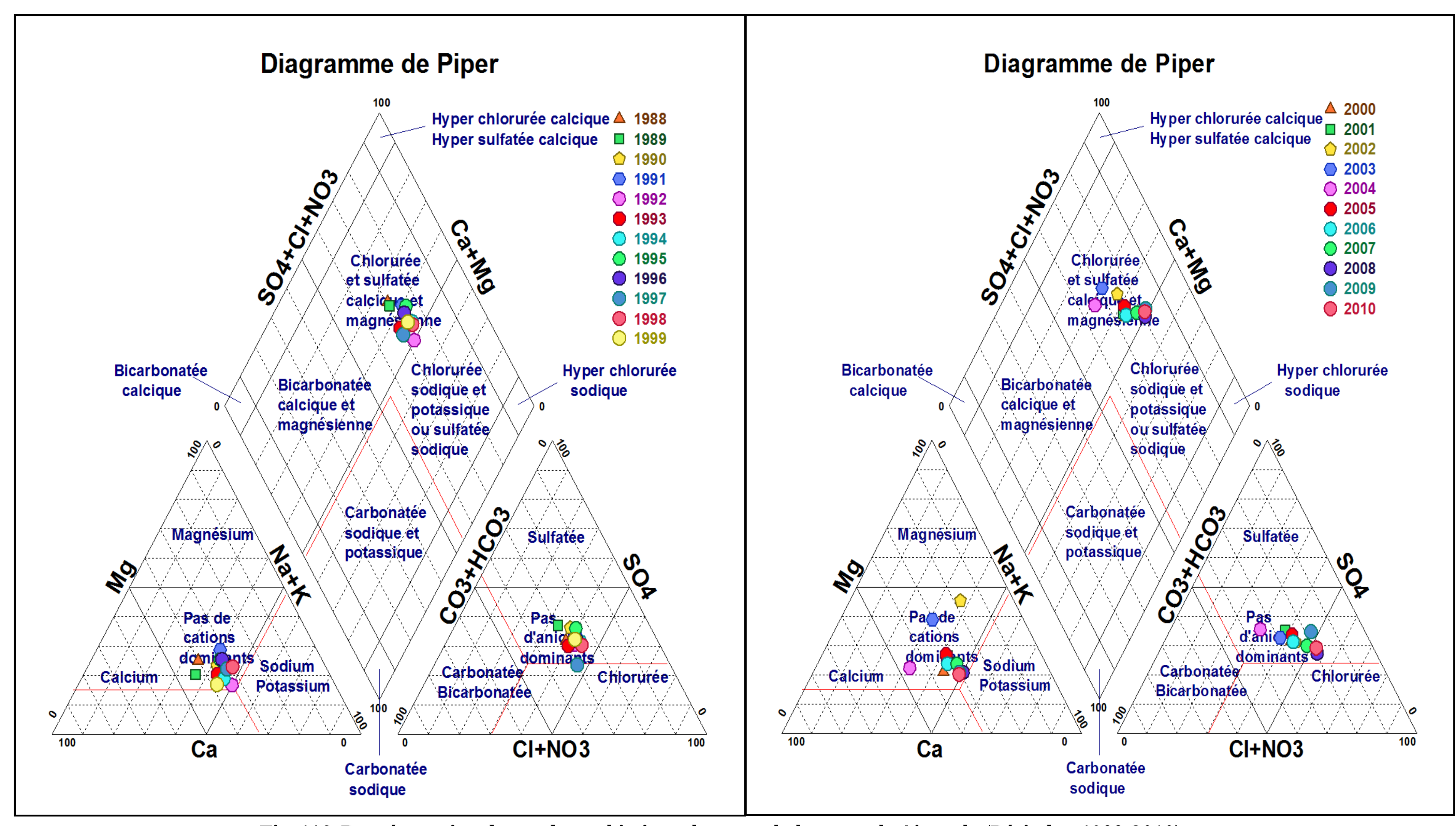


Fig. 116. Représentation des analyses chimique des eaux du barrage de Ain zada (Période : 1988-2010)

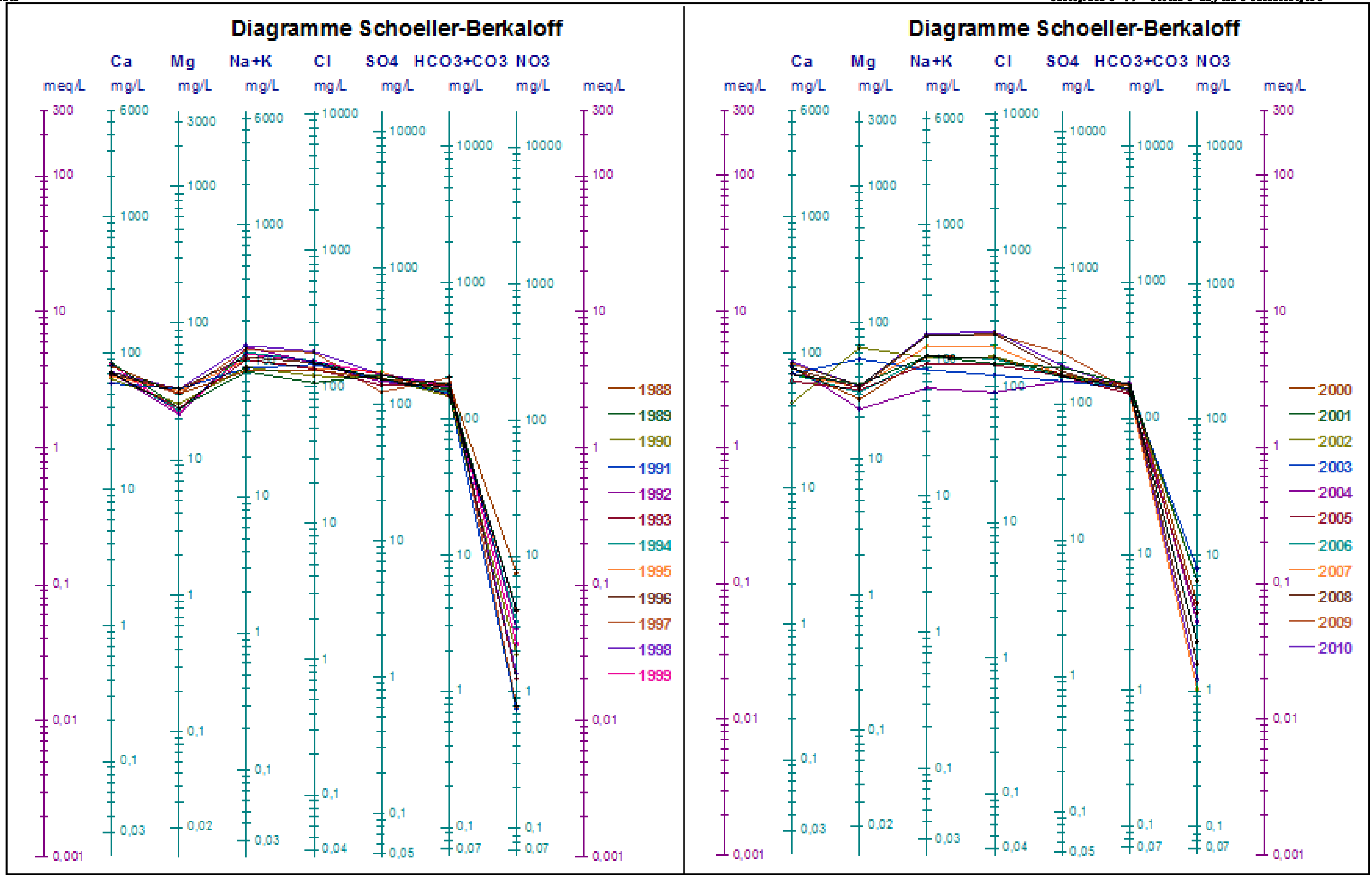


Fig. 117. Représentation des analyses chimique des eaux du barrage de Ain zada (Période : 1988 -2010)

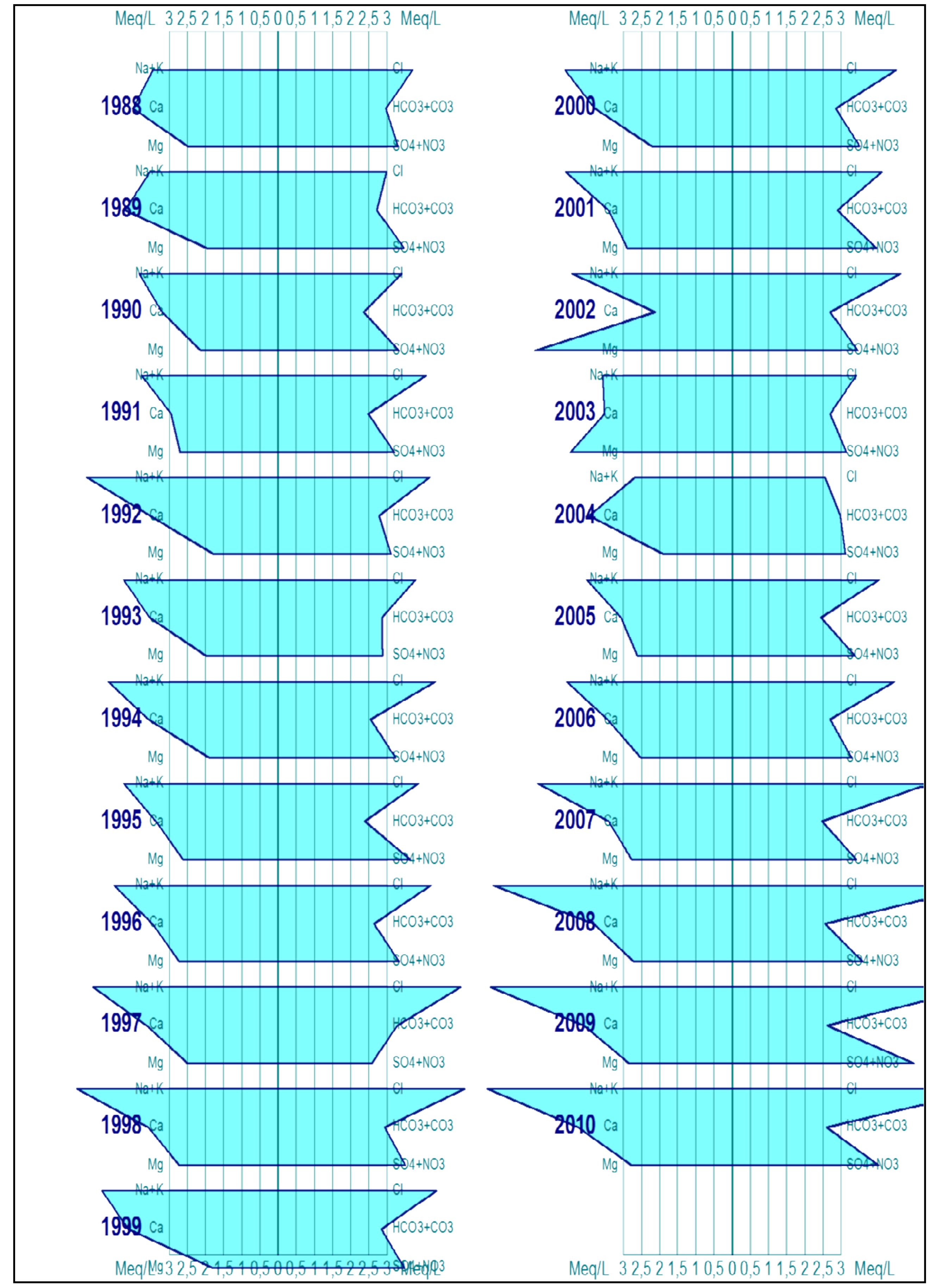


Fig. 118 : Représentation des analyses chimique des eaux du barrage de Ain zada, (sur le diagramme de STIFF, Période : 1988 -2010).

6- Analyse en Composante Principales (ACP):

L'A.C.P est une méthode statistique essentiellement descriptive dont l'objectif est de présenter sous une forme graphique, le maximum de l'information contenu dans un tableau de données. Ce tableau est constitué, en lignes par des « individus » (forages, sources,…) sur lesquels sont mesurées des « variables quantitatives » (CE, teneurs en Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+}, Cl^{-}, HCO_3^{-}, SO_4^{--} et NO_3^{-}) disposées en colonnes. Le but recherché est de déterminer la structure des variables (familles) ainsi que la répartition de ces dernières.

6.1. Principe :

Dans un tableau comportant (P) variables quantitatives, les individus peuvent être représentés dans un « espace à P dimensions ». Pour des raisons de visualisation, les espaces retenus sont à une dimension (droites) ou, et ce sera le cas le plus fréquent, à deux dimensions (plans). Les droites et les issus d'une A.C.P, ne sont pas réalisés avec les variables initiales mais avec des « indices synthétiques » obtenus par combinaisons linéaires de ces variables initiales. Parmi tous les indices possibles, l'A.C.P recherche d'abord celui qui permet de voir au mieux les individus c'est-à-dire pour lequel la variance des individus est maximale. Cet indice est appelé première composante principale, ou encore premier axe principal. Une certaine proportion de la variation totale des individus est expliquée par cette composante principale. Ensuite une deuxième composante est recherchée, cette deuxième composante principale fournit la plus grande information possible complémentaire de la première. Le processus se déroule jusqu'à l'obtention de la dernière composante principale. Si la variable ou un individu joue un rôle particulier, on l'introduit dans l'A.C.P « variable à expliquer » ou « variable supplémentaire » (ne participe pas à la construction des axes).

6.2. Résultats et interprétations:

Pour observer les individus, on construit les plans à partir des composantes principales les plus importantes est le plan engendré par les axes 1 et 2, car par définition c'est le plan sur lequel le maximum d'information est visible. On examinera d'autres plans, selon la part d'information prise en compte par ces derniers. Les résultats de l'A.C.P sont influencés par l'ordre de grandeur des variables.

Ainsi pour y remédier à cet inconvénient, il est recommandé de donner le même poids aux différentes variables en les réduisant. On réalise ainsi l'A.C.P soit sur des données centrées (variables de même nature) à partir de la « matrice des variances - covariances » entre variables, soit sur des données centrées réduites c'est-à-dire des variables de différentes natures « matrice de corrélation ».

Après l'élaboration des matrices des corrélations et de variances - covariances, il s'ensuit une diagonalisation basée sur :

- Une matrice de « vecteurs propres » qui contiennent des combinaisons linéaires des (P) variables initiales actives ;
- Une matrice de « valeurs propres » qui représentent les variances des individus sur les axes principaux correspondants.

Pour un axe donné, les variables qui ont les plus forts coefficients (en valeurs absolues) sont celles qui contribuent le plus à la formation de cet axe. Une variable est d'autant mieux représentée sur le plan qu'elle est proche du cercle. Le choix du nombre de composantes est exprimé en fonction des « valeurs propres » ou « les pourcentages de variation expliqués par chaque composante principale ».

Sur chaque plan retenu, on regarde :

- La structure des variables à partir de leurs corrélations avec les axes principaux, représentée par des « cercles de corrélation » ;
- la répartition des individus, à partir de leurs coordonnées sur les axes principaux et d'indices.

6.3. Application de l'A.C.P aux données chimiques des eaux du barrage de Ain Zada :

L'analyse effectuée est une A.C.P centrée réduite qui a été réalisée sur un tableau de données à 22 variables (T, pH, CE, Turb, RS, MES, O_2, ALC, Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+}, K^{+}, Cl^{-}, SO_4^{--}, HCO_3^{-}, M. org, NO_3^{-}, NO_2^{-}, NH_4^{+}, PO_4, DBO_5 et DCO.) et à 23 individus (Tableau. 67). L'interprétation de l'analyse se fera selon l'ordre des informations données par le logiciel (STATITCF).

Tableau. 67 : Caractéristiques statistiques des données analysées.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
T	14,400	18,300	16,787	0,990
pH	7,780	8,440	8,173	0,198
C.E	811,100	1394,200	1013,796	168,575
Turb	0,900	8,790	3,168	2,043
RS	556,570	896,000	710,020	82,205
MES	16,000	143,000	75,633	33,421
O_2	69,510	106,350	83,805	8,894
ALC	121,290	144,260	130,107	4,093
Ca	42,800	85,230	71,568	9,402
Mg	21,450	66,180	32,009	10,147
Na	60,330	152,400	102,470	24,733
K	1,830	18,700	7,492	4,301
Cl	90,000	252,000	159,291	41,490
SO_4	123,780	240,180	163,234	22,194
HCO_3	144,890	201,280	165,872	13,572
M.Org	6,690	12,130	9,735	1,367
NO_2	0,000	0,130	0,039	0,039
NO_3	0,750	7,910	3,234	2,128
NH_4	0,010	0,560	0,128	0,125
PO_4	0,000	0,350	0,184	0,096
DBO_5	2,860	6,380	3,842	0,764
DCO	20,330	62,170	47,123	11,080

6.3.1. Corrélation entre les différents éléments :

Un examen rapide de la matrice de corrélation (Tableau. 68) permet de constater que, pour la période considérée (1988-2010), les coefficients atteignent des valeurs élevées (0,946 à 0,955). Le plus petit coefficient est égal à (- 0,004) qui correspondent au couple (pH-Mg).

Cette matrice nous permet d'apercevoir les éléments corrélables entre eux suivant la valeur du coefficient de corrélation. La bonne corrélation se définit par le coefficient de corrélation (r>0,8), ce qui nous permet d’extraire les couples suivants : CE-RS, CE-Na, CE-Cl, RS-K, RS-Na, RS-Cl.

Les éléments corrélés présentent la même origine. Par exemple le couple Na-Cl est inclus dans le faciès chimique existant dans la région (chloruré sodique). L'origine de ces derniers provient des roches carbonatées et évaporitiques (gisement gypseux de Guellal).

Le couple CE-RS qui donne une bonne corrélation confirme la contamination des eaux du barrage par une pollution d’origine anthropique (rejets des eaux usées).

On remarque aussi, par exemple, que les nitrates qui ne présentent aucune corrélation avec les autres éléments, sont la conséquence de la contamination anthropique des eaux de barrages (pollution due à l’épandage d’engrais chimique). Cependant, les autres paramètres paraissent faiblement liés aux autres variables.

Tableau. 68. Corrélation entre les différents éléments

	T	pH	CE	Turb	RS	MES	O_2	ALC	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO_4	HCO_3	M.org	NO_2	NO_3	NH_4	PO_4	DBO_5	DCO
T	**1**																					
pH	**-0,419**	**1**																				
CE	0,241	**-0,536**	**1**																			
Turb	0,194	-0,372	0,233	**1**																		
RS	-0,038	-0,306	**0,869**	0,085	**1**																	
MES	**0,466**	-0,165	-0,036	0,276	-0,377	**1**																
O2	0,348	**-0,528**	0,286	**0,501**	0,284	-0,037	**1**															
ALC	-0,018	-0,110	-0,279	-0,051	-0,312	-0,045	-0,251	**1**														
Ca	-0,005	-0,272	0,240	0,172	0,275	0,121	0,210	-0,148	**1**													
Mg	0,191	-0,004	0,206	0,286	0,018	0,211	-0,010	-0,020	**-0,585**	**1**												
Na	0,066	**-0,424**	**0,955**	0,129	**0,921**	-0,205	0,257	-0,298	0,238	0,063	**1**											
K	**-0,787**	**0,659**	**-0,473**	-0,199	-0,244	-0,270	**-0,480**	0,033	-0,031	-0,273	-0,298	**1**										
Cl	0,079	**-0,454**	**0,946**	0,210	**0,879**	-0,132	0,290	-0,297	0,190	0,164	**0,960**	-0,275	**1**									
SO_4	0,141	**-0,564**	**0,683**	**0,438**	**0,669**	-0,044	**0,413**	-0,096	0,274	0,111	**0,598**	**-0,478**	**0,575**	**1**								
HCO_3	0,124	0,284	-0,059	-0,116	-0,175	0,288	**-0,462**	-0,010	0,285	-0,102	-0,113	0,125	-0,14	-0,349	**1**							
M.Org	0,236	-0,117	**0,580**	0,213	**0,436**	-0,023	0,066	-0,239	-0,114	0,412	**0,521**	-0,310	**0,550**	0,166	0,107	**1**						
NO_2	0,166	**-0,545**	0,250	**0,425**	0,111	0,094	**0,561**	-0,034	0,390	0,114	0,179	**-0,414**	0,188	0,273	-0,108	-0,156	**1**					
NO_3	0,044	0,130	-0,327	0,375	**-0,491**	0,399	-0,198	0,223	-0,165	**0,487**	**-0,457**	0,077	**-0,421**	-0,019	0,113	-0,186	0,094	**1**				
NH_4	0,159	**-0,514**	**0,573**	0,353	**0,498**	0,118	**0,580**	-0,239	0,318	0,022	**0,557**	-0,272	**0,613**	0,411	-0,213	0,132	0,403	-0,116	**1**			
PO_4	-0,090	0,069	0,085	-0,363	-0,102	0,229	**-0,420**	0,077	-0,121	0,194	0,041	-0,130	-0,030	-0,081	0,228	0,030	0,110	0,069	-0,318	**1**		
DBO_5	-0,238	**-0,438**	0,409	0,238	**0,427**	-0,067	0,097	-0,041	0,349	-0,042	**0,456**	0,118	**0,572**	0,253	-0,135	0,200	0,195	-0,173	**0,470**	-0,260	**1**	
DCO	-0,041	-0,206	**0,590**	-0,265	**0,589**	-0,240	0,023	0,015	0,009	0,036	**0,609**	-0,110	**0,591**	0,275	-0,107	0,406	-0,174	**-0,506**	0,110	0,255	0,138	**1**

Les valeurs en gras sont significatives à un niveau de signification alpha=0.05

6.3.2. Etude des variables et des individus :

Le traitement à été poussé jusqu'à 5 facteurs. A ce stade seulement 72.9 % de la variance ont été exprimés. Les résultats sont résumés dans suivant

.

Tableau. 69 : Pourcentage de variance exprimé

	F1	F2	F3	F4	F5
Valeur propre	6,877	3,294	2,458	1,786	1,634
Variabilité (%)	31,261	14,975	11,171	8,118	7,426
% cumulé	31,261	46,236	57,407	65,525	72,951

Le plan factoriel F1/F2 (Fig. 119) fournie 46 % de renseignements. L'axe F1 horizontal (31%) est déterminé par une opposition entre la conductivité électrique et le résidu sec, l'ammonium, les éléments salés (Cl, Na et SO4) et la pollution organique (Mat. Org. et DBO5) et le pH. Donc c'est l'axe de pollution et de contamination des eaux de surface. L'axe F2 vertical (15 %) confirme cette tendance de pollution puisqu'il est déterminé par les nitrates, les nitrites, la température, la turbidité et la matière en suspension MES (Tableau, 70).

Les autres facteurs ne sont déterminés par aucune variable.

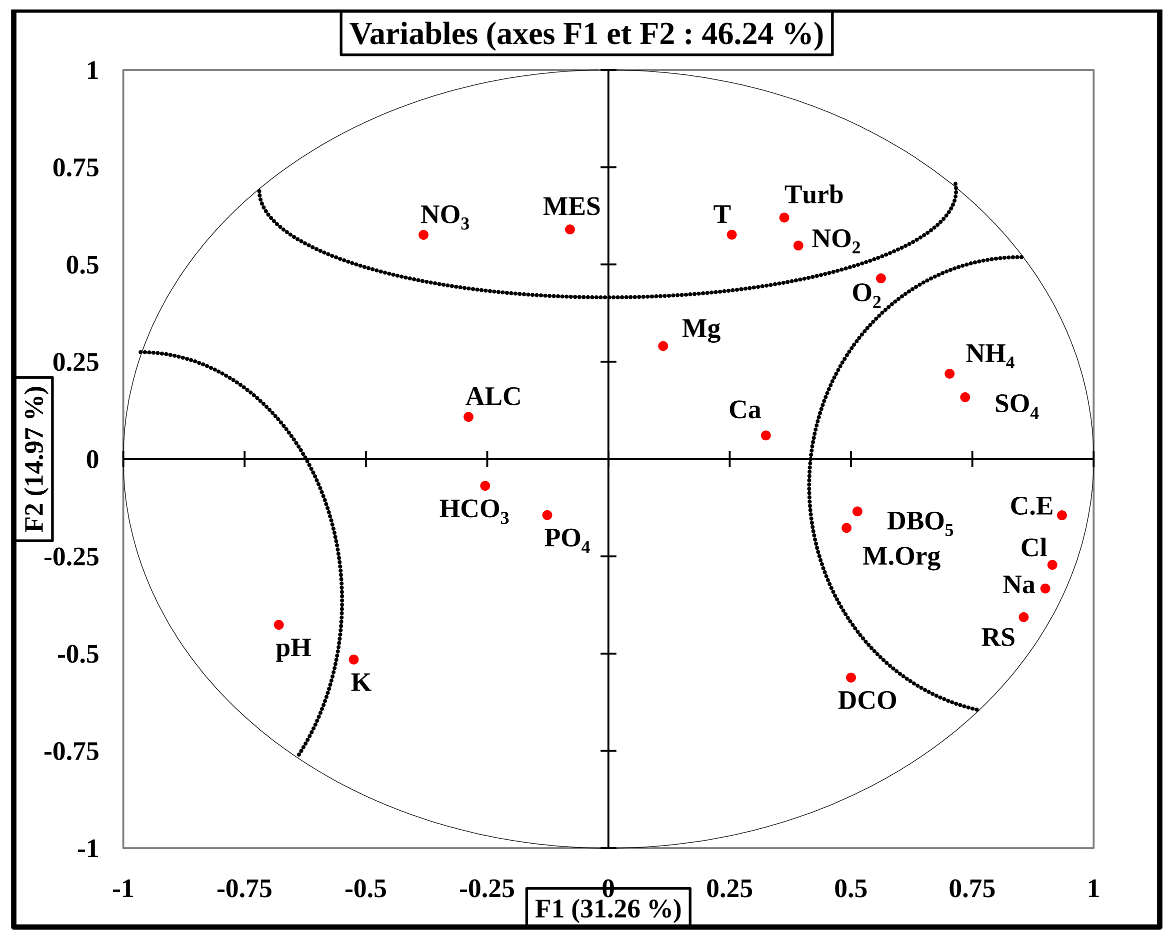


Figure 119. Plan factoriel F1/F2

Tableau. 70 : Contribution des variables à l'inertie totale

	F1	**F2**	**F3**	**F4**	**F5**
T	0,254	**0,576**	0,396	0,273	-0,325
pH	**-0,679**	-0,426	0,089	-0,120	0,228
CE	**0,935**	-0,144	0,248	0,093	0,106
Turb	0,362	**0,620**	-0,137	-0,265	0,401
RS	**0,856**	-0,406	-0,017	-0,050	0,032
MES	-0,079	**0,590**	0,307	0,401	0,287
O2	0,561	0,464	-0,339	-0,188	-0,335
ALC	-0,288	0,108	0,028	-0,053	-0,189
Ca	0,324	0,061	-0,537	0,652	0,206
Mg	0,113	0,290	0,681	-0,504	0,266
Na	**0,900**	-0,333	0,110	0,048	0,089
K	-0,525	-0,515	-0,392	-0,176	0,444
Cl	**0,915**	-0,272	0,108	-0,030	0,175
SO4	**0,735**	0,159	-0,029	-0,126	-0,034
HCO3	-0,254	-0,069	0,238	0,677	0,426
M.Org	0,491	-0,177	0,540	-0,111	0,219
NO2	0,391	**0,548**	-0,239	0,155	-0,026
NO3	-0,381	**0,576**	0,192	-0,221	0,462
NH4	**0,703**	0,219	-0,285	-0,023	0,157
PO4	-0,126	-0,144	0,570	0,370	-0,040
DBO5	0,513	-0,135	-0,363	-0,057	0,448
DCO	0,500	-0,562	0,305	0,055	-0,229

7- Etude de l'origine des éléments chimiques et des rapports caractéristiques :

7.1. Etude de l'origine des éléments chimiques :

On détermine ici l'origine géologique des éléments chimiques à partir de la bonne corrélation qui existe entre eux. Les régressions effectuées utilisent les données des analyses moyennes annuelles de toutes les années de cette série (1988-2010). Deux relations principales seront examinées :

***a. Le couple Na^+ - Cl^- :**

Ces deux éléments chimiques dans les eaux naturelles sont souvent liés à la dissolution de l'halite (Na Cl). L'évolution de Na^+ est étudiée en fonction des teneurs en chlorure, car ce dernier est considéré comme un traceur stable et conservatif des évaporites, très soluble, entrant rarement dans les précipitations salines, n'intervenant pas dans les phénomènes d'oxydoréduction et peu influencé par l'intervention des bactéries. En plus son déplacement n'est pas retardé dans l'eau. La représentation graphique de l'évolution des teneurs en sodium en fonction des concentrations en chlorures sur une échelle logarithmique (Fig. 120), montre deux processus :

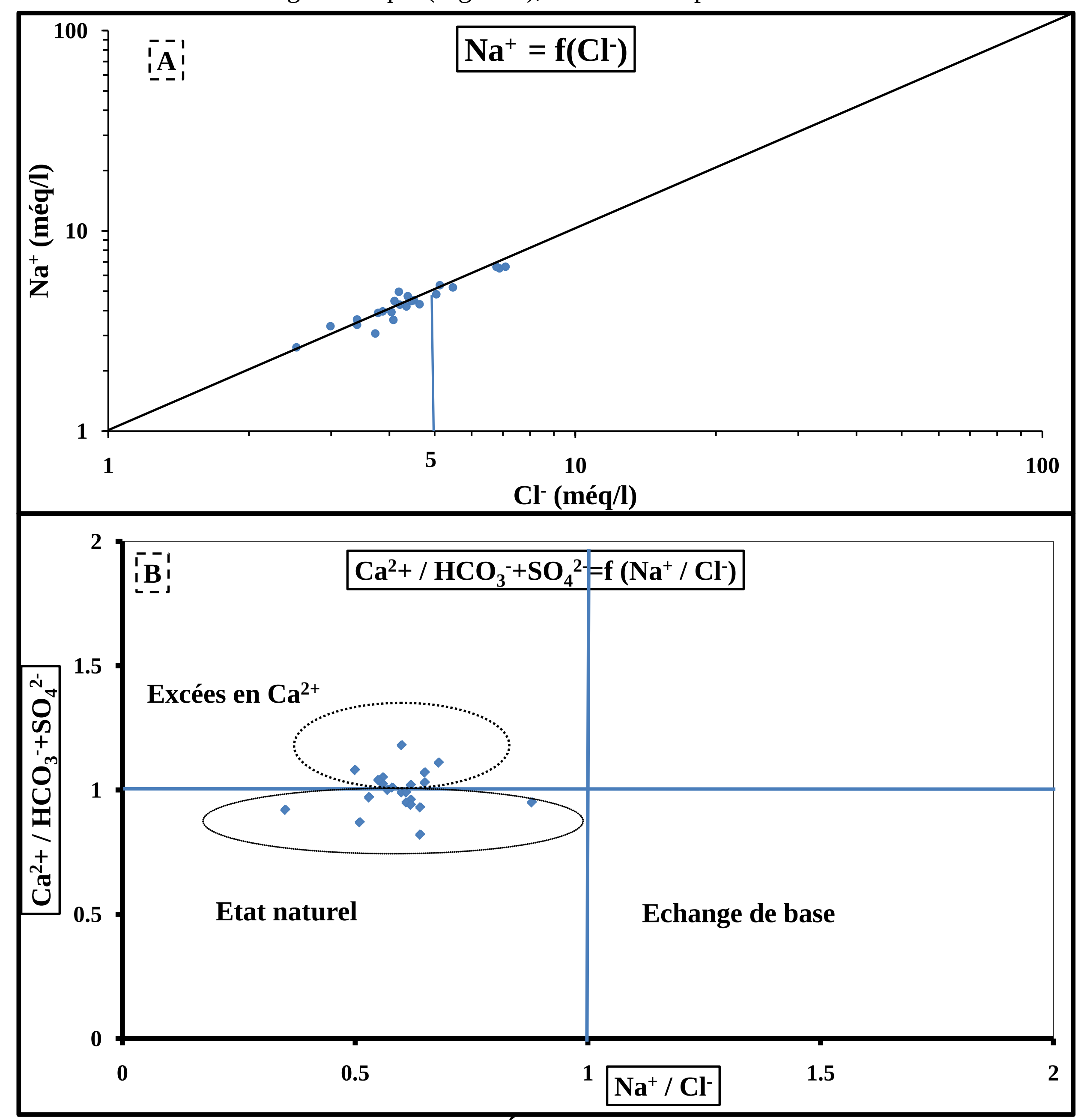


Fig. 120: Échange de base

- pour les fortes concentrations du chlorure (> 5 méq/l) : on observe une répartition stœchiométrique des ions Na^+ avec les ions Cl^-, indiquant l'origine chlorurée sodique commune (Halite) de ces deux éléments chimiques.
- pour les faibles concentrations en chlorure (< 5 méq/l) : on observe un peut d'excès des teneurs en sodium par rapport à la pente 1, cela s'explique par l'existence d'une autre origine pour les ions sodiques qui a fait accroître la concentration du sodium par rapport à celle des chlorures. Cet apport supplémentaire pourrait provenir de l'altération des formations salifères (triasiques), surtout cet excès en Na^+ est accompagné par un peut d'excès en Ca^{2+} par rapport à HCO_3^- et SO_4^{2-} (Fig. 120b), donc les teneurs en Na^+ ne peut pas s'expliquer par un échange de base lié aux minéraux argileux.

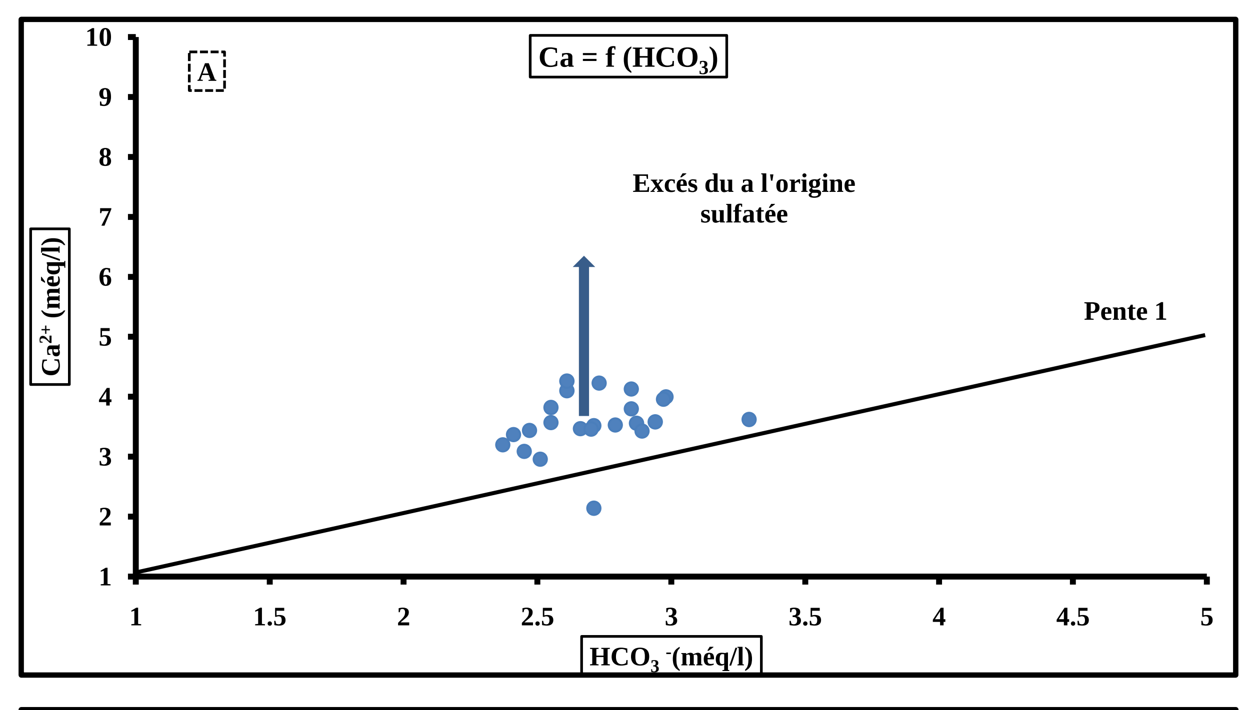
***b. Les éléments Ca^{2+} – HCO_3^- – SO_4^{2-} :**

On examine ici l'origine du calcium en fonction de deux éléments chimiques (bicarbonates et les sulfates) qui indiquent ses deux origines principales (carbonates et le gypse) (Fig. 121).

La représentation graphique de l'évolution du calcium en fonction des bicarbonates (Fig. 121.A), montre que l'ensemble des points se positionnent sur la gauche à la pente 1, indiquant l'origine évaporitique des ions du calcium due a la mise en solution du gypse. Par contre le point qui se positionne sur la droite à la pente 1, indiquant l'origine carbonatée des ions du calcium.

Pour déterminer l'évolution du calcium en fonction de ces deux éléments, une représentation graphique des teneurs en Ca^{2+} en fonction de HCO_3^- + SO_4^{2-} a été réalisée (Fig.121.B), cette dernière fait apparaître une seule évolution: un excès exponentiel en Ca^{2+} , indiquant l'origine carbonatées de Ca^{2+}.

Ces deux représentations nous montrent que les ions du calcium a deux origines principal : l'une due à la dissolution des formations carbonatées et l'autre évaporitique (les formations gypseuses) ; dont la première (carbonatées) est plus importante que celle des évaporites.



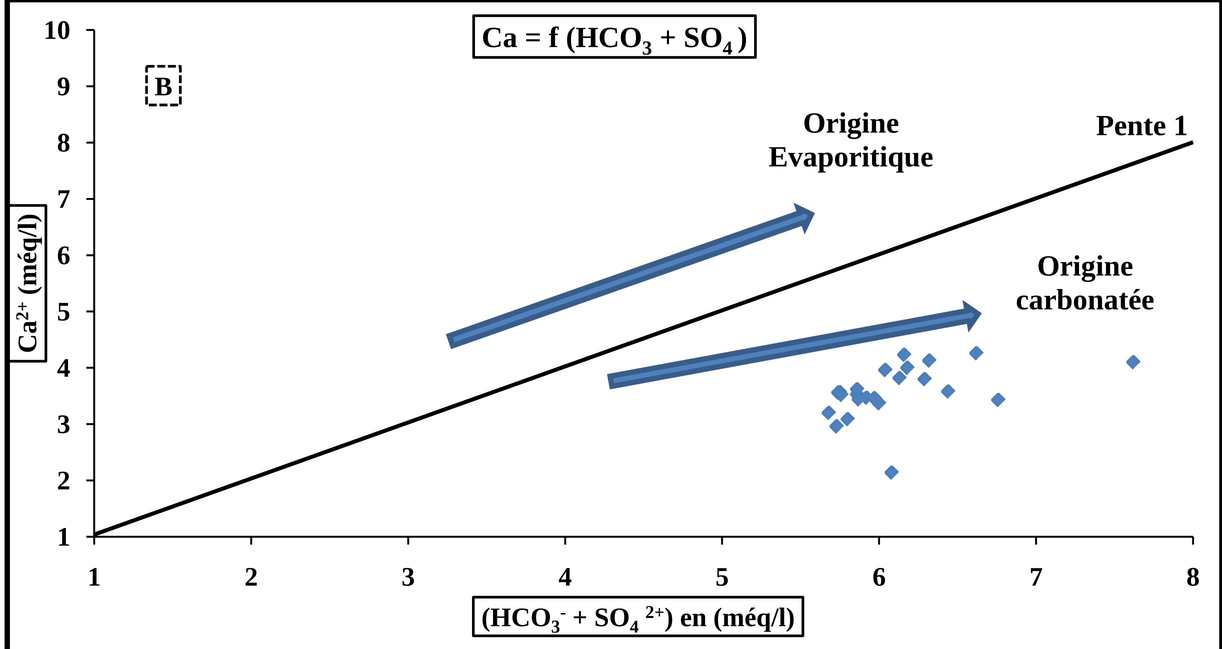


Fig. 121 : Origine du calcium

7.2 Etude des rapports caractéristiques :

Dans cette étude, on a utilisé les données des analyses moyennes annuelles de toutes les années de cette série (1988-2010). Deux rapports caractéristiques sont utilisés pour déterminer l'évolution des éléments chimiques en fonction de la conductivité dans les eaux du barrage de Ain zada.

a. La relation $HCO_3^-/(Cl^- + SO_4^{2-})$ – conductivité électrique :

Nous constatons ici une diminution logarithmique du rapport en fonction de la conductivité, Deux pôles sont observés (Fig. 122A) : l'un carbonaté caractérisé par une dominance des ions HCO_3^- et des conductivités inférieures à 1100 µS/cm, il rassemble la majorité des points 87 %. Un autre représente le pôle évaporitique et affirme une dominance des ions Cl^- et SO_4^{2-}. Ce pôle apparaît pour les fortes conductivités (> 1100 µS/cm) et englobe (13 %) des points.

Ce graphe nous permet de dire que la conductivité pour des valeurs faibles (< 1000 µS/cm/) où il n'y a pas de formation évaporitique est liée aux ions bicarbonates. Par contre lorsqu'elle dépasse 1100 µS/cm la conductivité devient liée plus aux ions évaporitiques (Cl^- et SO_4^{2-}) ses sont les années les plus pluvieuses.

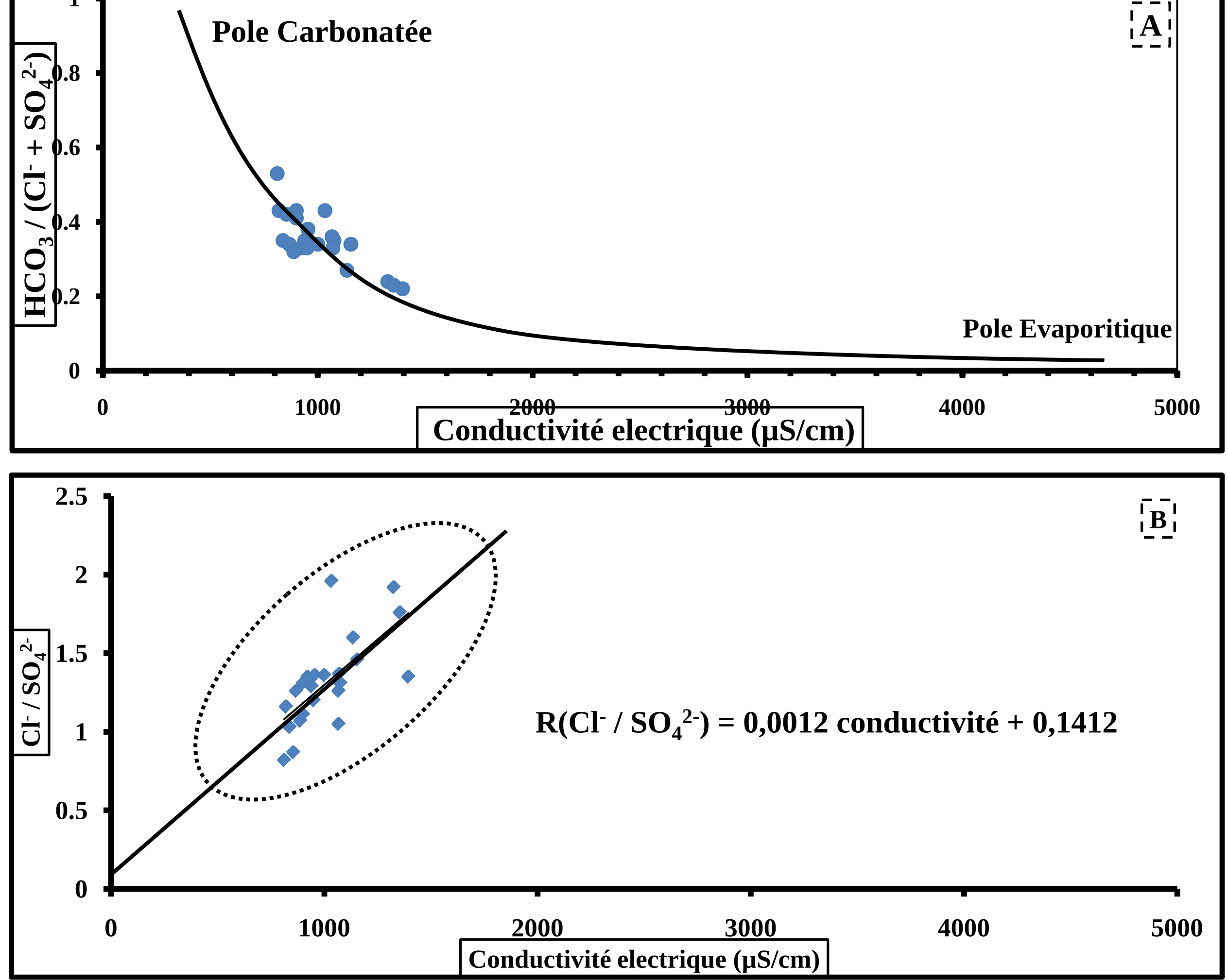


Fig. 122 : L'origine de la salinité en fonction des rapports caractéristiques

b. La relation Cl^-/SO_4^{2-} - conductivité électrique :

Ce rapport nous permet de déterminer la manière selon laquelle évolue la dissolution des ions évaporitiques (Na^+ marqueur de l'halite et SO_4^{2-} marqueur du gypse) en fonction de la conductivité. Le report des points sur le graphique (Fig. 122B), nous montre que la totalité des points présente un rapport supérieur à 1, indiquant une dominance des ions salifères par rapport à ceux des gypses. Une relation linéaire de ce rapport en fonction de la conductivité a été présentée pour la majorité des points selon la relation suivante :

$$\mathbf{R\ (Cl^- / SO_4^{2-}) = 0{,}0012\ conductivit\acute{e} + 0{,}1412}$$

8. Conclusion :

Dans cette étude hydrochimique nous retiendrons que les eaux du barrage de Ain Zada présentant :

A- Paramètres physico-chimiques :

- Une température moyenne de 17 °C.
- Un pH moyen de 8, ce qui correspond aux normes de potabilité.
- La conductivité atteint la norme admissible (1.5mmhos/cm) et un résidu sec atteignant 1000 mg/l, en corrélation avec la conductivité électrique qui est relativement élevée.
- La turbidité, MES et O_2 dissous présentent des valeurs moyennes admissibles.

B- Les éléments majeurs :

- Les valeurs de sodium et du chlore et sulfates sont plus élevés dans les eaux de barrage, elles atteignent respectivement 200, 315 et 380 mg/l. Cette augmentation est due la température élevée durant l'été (donc évaporation intense).

C- Les éléments de pollution :

- Les nutriments (DBO_5, DCO, les éléments nutritifs (NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+, PO_4^{3-}) et les éléments en traces métalliques (Zn^{+2}, Fe^{+2}, Mn^{+2}, Cu^{+2}, Pb^{2+}) présentent des valeurs qui dépasses la norme admissible de potabilité. Par exemple, Les concentrations en nitrates sont de faibles. cette variation de cette dernière est liée au taux d'épandage des engrais chimiques à une période de l'année plus qu'a une autre .Cependant, la période estivale est une période de récolte, et que probablement en hivers les nitrates sont entrainés par ruissellement pour les eaux de barrage.

Le faciès chimiques des eaux du barrage de Ain zada est Chloruré sodique et potassique pour l'ensemble des années de la période d'étude sauf les années 1995 et 2004 ou le facies devient respectivement Sulfaté-Sodique et Sulfaté-Calcique, et aux deux années 2002 et 2003 est de type Chloruré -Magnésien.

L'analyse en composantes principales des eaux du barrage de Ain Zada nous a permis d'illustrer un ensemble chimique dominant, c'est le faciès des eaux chloruré calcique qui a pour origine la contamination par le lessivage des formations évaporitiques (gisement gypseux).

On note aussi une contamination des eaux du barrage par les métaux lourds (éléments toxiques) et les nitrates, liée aux industries, au rejet des eaux usées et à l'épandage d'engrais chimiques.

Chapitre : VI

Pollution Organique

Chapitre VI
Pollution Organique

I. Contraintes qualitatives :

Introduction :

La pollution est un phénomène ou élément perturbateur d'un équilibre établi et plus particulièrement si cet élément est nuisible à la vie. Elle peut être anthropique, c'est-à-dire d'origine humaine, ou non (http://fr.wikipedia.org/wiki/Pollution).

Le polluant lui-même est définit comme étant un altéragène biologique, physique ou chimique, qui au-delà d'un certain seuil et dans certaines conditions, développe des impacts négatifs de contamination des écosystèmes (air, eau et/ou sol) ou de l'environnement en général (http://fr.wikipedia. org/wiki/ Polluant, Everaerts-Poll & Vanden Bossche, 2000).

A. Définition de la pollution :

Toute action ou introduction volontaire, accidentelle ou naturelle du corps qui altère la qualité chimique, physique ou biologique d'eau est appelée: **POLLUTION.** D'une manière générale, toute contamination de cette eau par :

- Les impuretés naturelles indépendantes de l'homme ;

-La matière organique entraînée par le lessivage des sols qui se trouvent dans les rivières et les affluents ;

- L'activité humaine: nitrates, des engrais phosphatés, du lessivage, des matières organiques complexes des déjections humaines, animales et minérales diverses déversées par l'industrie.

Ceci nous permettra de classer schématiquement les constituants de la pollution de l'eau en fonction de leurs états (matières en suspension ou en solution), et leurs natures (matières organiques ou toxiques). Cette classification sera d'un apport non négligeable pour la définition des procédés d'épuration appropriés à chaque type de pollution.

B.les Différents types de pollution :

La pollution peut se présenter sous deux formes, diffuse ou chronique. On parle de pollution diffuse, lorsque les sources d'un polluant sont multiples (pots d'échappement, épandage de pesticides, etc…); et d'une pollution chronique, lors d'une propagation répétée ou constante de polluant et parfois lorsqu'un polluant est très rémanent. Elle se présente sous trois formes :

1. la Pollution de l'air

La pollution de l'air (ou pollution atmosphérique) est un type de pollution defini par une altération de la pureté de l'air, par une ou plusieurs substance ou particules présentes à des concentrations variables qui durent assez longtemps pour créer un effet toxique ou écotoxique.

Ce genre de pollution a pris de l'ampleur avec la révolution industrielle. Elle peut être :

- brève ou chronique ;
- visible (fumée) ou invisible (apports par l'air ou les pluies des polluants tels que : les pesticides pulvérisés, les désherbants, les fongicides et les insecticides) transportés par l'air puis lessivés par la pluie ou directement absorbés par les cuticules cireuses;
- anthropique et émise par une source fixe (ex: cheminée, chaudière, usine…), ou émise par des sources mobiles (véhicules à moteur, épandeurs de pesticides, transport maritime ou aérien), l'ensemble de ces sources contribuant à une pollution globale (ex : augmentation de l'effet de serre due au CO_2).

- Naturelles (ex : volcanisme, érosion éolienne, émissions naturelles de méthane)

2. Pollution des sols

La pollution du sol peut être diffuse ou locale, d'origine industrielle, agricole (suite à l'utilisation massive d'engrais ou de pesticides qui s'infiltrent dans les sols). Ces pollutions agricoles peuvent avoir plusieurs impacts sur la santé humaine, en touchant les nappes phréatiques d'une part et en contaminant les cultures d'autre part (Bockman & al., 1990 ; Barriuso & al., 1996).

Ces pesticides sont soumis à l'action simultanée des phénomènes de transferts, d'immobilisation et de dégradation.

- ✓ Le transfert s'effectue dans le sol à l'aide de l'eau de pluie. Il varie selon le régime hydrique, la perméabilité des sols et la nature du produit.
- ✓ Le phénomène d'immobilisation est du à l'absorption qui résulte de l'attraction des molécules de matières active en phase gazeuse ou en solution dans la phase liquide du sol par les surfaces des constituants minéraux et organiques du sol. De même, les phénomènes de désorption qui correspondent à la libération de la molécule dans le sol (phénomène inverse de l'absorption). Les pesticides sont en majorité absorbés rapidement par les matières humiques du sol (colloïdes minéraux et organiques).
- ✓ Les processus de dégradation des matières actives aboutissent finalement à l'obtention de molécules minérales telles que H_2O, CO_2, NH_3. Il est assuré par les organismes biologiques de la micro flore du sol (bactéries, actinomycètes, champignons, algues, levures, etc.).

Il existe également des processus physiques ou chimiques de dégradation, telle que la photo décomposition. Ces actions contribuent à diminuer la quantité de matière active dans le sol et donc à réduire les risques de pollution.

Les sols se comportent comme un filtre actif en assurant la dégradation des produits phytosanitaires, et sélectifs, car ils sont capables de retenir certains de ces produits.

3. Pollution de l'eau

Les détritus de type déchets ménagers sont souvent indicateurs d'autres pollutions (métaux lourds, microbes…) posant des problèmes de santé publique, notamment dans les eaux de surfaces qui sont utilisées pour la boisson, la lessive, la vaisselle, pour l'hygiène corporelle, pour la cuisine, etc.…

La pollution de l'eau peut se présenter sous différentes formes : chimique, bactériologique ou thermique. Les eaux ou masses d'eau concernées peuvent être douces, saumâtres ou salées, souterraines ou superficielles. Il peut même s'agir de la pluie ou des rosées.

La pollution de l'eau peut avoir diverses origines parmi lesquelles :

- Agricole: les exploitations agricoles qui polluent les eaux de surface et souterraines par l'épandage de divers produits présents dans les engrais (comme les nitrates) ou les produits phytosanitaires peuvent polluer les nappes phréatiques.

- Industrielle: dont les sous-produits utilisés sont une des plus importantes sources de pollution de l'eau. Il s'agit essentiellement de produits chimiques et d'hydrocarbures (dégazage) ;

- Les rejets urbains: les eaux rejetées non traitées présentent une source de pollution très dangereuse pour la vie de tout être vivant car elles contiennent des différents polluants (détergents, eaux de vannes et autres matières toxiques).

Une législation très sévère a été mise en place obligeant à traiter les eaux usées de tous genre, qu'elles soient urbaines ou industrielles

C. Différents origines de pollution :

1. Pollution anthropique : (d'origine humaine).

Les pollutions d'origine humaine ont plusieurs formes et peuvent être locales, ponctuelles, accidentelles, diffuses, chroniques, génétiques, volontaires et involontaires.

Cette pollution est une diffusion directe ou indirecte dans l'environnement de polluants. Ces derniers peuvent être des sous-produits d'une activité humaine involontaire (émissions des pots d'échappement, déchets solide, liquide ou gazeux de consommations quotidiennes). Il peut aussi s'agir des phénomènes physiques (chaleur, lumière et radioactivité), dont l'impureté dépendant de la dose, de la nature et de la durée d'exposition à ce genre de polluant.

Ils peuvent constituer des poisons pour l'homme et l'environnement (ex. Mercure) et avoir des effets tératogène provoquant des malformations chez les nouveau-nés et toxique pour les adultes sous forme de dioxines, d'insecticides ou de fertilisants agricoles.

2. Pollution d'origine non humaine :

Ces pollutions peuvent être :

a. Des conséquences directes ou indirectes de catastrophes naturelles, tels que le volcanisme,

b. Une pollution liée à des phénomènes naturels tels que les éruptions solaires,

c. Une pollution d'un captage d'eau par un ou plusieurs facteurs (des déchets ou de corps d'animaux morts),

II. Détermination des apports régionaux de pollution :

A. Aspect quantitatif de la pollution dans la zone d'étude :

Les cours d'eau qui alimente le barrage de Ain zada telle que oued Boussellam, oued fetissa, oued Taghrout et oued kharoua reçoit 3 types de pollutions :

1. Pollution Urbaine :

Les rejets urbains soit des déchets solides ou d'eaux usées concernent les villes de Sétif, Ouricia, Fermatou , Ain Arnet, Mezloug , Guellal et Mahdia dont les eaux n'étaient pas épurées avant d'être déversées dans l'Oued Boussellam (sauf la ville de Sétif qui est occupée par une Station d'épuration située a Ain sfiha (Fig.130) , et les villes de Bir kasd Ali et Ain Taghrout dont les eaux n'étaient pas épurées avant d'être déversées dans l'Oued Taghrout puits directement dans la cuvette du barrage de Ain zada (Fig.n.130. et Tabl.n.71)

Ces rejets domestiques peuvent être chargés en matières organiques issues des eaux vannes (déchets humains liquide ou solide) (Fig.123), des coliformes fécaux (pollution microbiologique), graisses et détergents.



Fig.n.123: Ces images mettent en évidence l'influence négative des rejets urbains (liquide et solide) sur la qualité des eaux d'oued Boussellam

Tableau 71. Données des populations, des consommations en AEP et des rejets des volumes d'eaux des communes du sous bassin de Boussellam

Wilaya	*Daïras*	*Communes*	*Population 2008 (hab)*	*Taux d'acc*	*Population(1) 2010 (hab)*	*Milieu de résidence*	*Superficie (2) (km^2)*	*Densité (hab/km^2)*	Volume d'eau d'AEP Qx Réelles m^3/j	**Taux raccord Au réseau d'AEP(%)**	**Volume d'eau rejetée (m^3/j) théorique**	**Taux raccord Au réseau d'assainiss%**	**Volume d'eau rejetée (m^3/j) dans l'oued**	**Milieu récepteur**
Bordj Bou-Arreridj	Ain taghrout	Ain taghrout	12906	1.5	13296	Rural	124.03	107.19	1943	96	1554.4	93	1214	oued
		Tixter	10190	0.7	10333	Rural	109.43	94.42	1538	85	1230.4	77	932	oued
	Bir kasd ali	Bir kasd ali	14768	1.6	15244	urbain	64.48	236.41	1480	90	1184	89	740	oued
	Ras el oued	Ras el oued	51482	2	53562	urbain	140.13	382.23	6286,61	95	6024	90	5029	oued
		Ain tessera	9570	0.2	9608	Rural	118.31	81.21	757.14	80	605.71	69	1062	oued
Total	**03**	**05**	**98916**	**1.2**	**102043**	/			12005		10599		8980	
SETIF	Sétif	Sétif	288461	1.9	299528	urbain	127.30	2352.93	52.522	99	42018	87,7	22188	Step +oued
	Ain Arnat	Ain Arnat	43551	3.8	46924	urbain	202.55	231.66	7.474	95	5980	92	3187	oued
		El Ouricia	18087	2.3	18929	urbain	117.87	160.59	3.672	85	2938	96	1312	oued
		Mezloug	16976	2.5	17835	Rural	135.55	131.57	3.542	70	2834	95.8	816	oued
	Ain Oul-mène	Ain Oulmène	73831	2.2	77115	urbain	171.08	450.75	6.500	99	5200	88.1	4669	oued
		Guellal	21385	0.7	21686	Rural	125.60	172.65	210	96	168	76	270	oued
		Ksar El Abtal	23833	1.5	24553	Rural	118.40	207.37	779	92	624	86	637	oued
		OuledSiAhmed	10238	0.8	10403	Rural	102.85	101.14	436	90	349	76.1	360	oued
	Guidjel	Guidjel	33685	1.9	34977	Rural	231.43	151.13	4.680	85	3744	75.5	1106	oued
	Salah Bey	Salah Bey	27175	2.2	28384	urbain	142.00	199.88	5.500	90	4400	87	1719	oued
		Rasfa	16075	1.4	16528	Rural	184.88	89.39	2.160	70	1728	62	476	oued
Total	**05**	**11**	**573297**	**1.9**	**596862**	/	**1659.51**	**359.66**	**87475**		**69980**		**36740**	
T.bassin	**08**	**16**	**672213**	**1.7**	**698905**	/			**99480**		**80579**		**45720**	

$P_F = P_R (1+ \zeta)^N$

Avec : P_F :Population future ou actuelle(2010)

P_R : Population de référence (année de recensement local)

ζ : Taux d'accroissement local

N: Horizon pris en considération (2 ans)

Source. *Direction d'urbanisme et d'habitat* DUH des Wilayas de BBA et Sétif

(1), (2). Les calcules se faites selon les limites administratives des communes

2. Pollution Industrielle :

La deuxième source de pollution des eaux de surface sont les eaux résiduaires industrielles. Ces rejets sont spécifiques de l'industrie concernée et donc très variables d'une activité industrielle à une autre. Les rejets industriels tels que les différentes usines (dizaine d'unités) de la zone industrielle de Sétif sont déverses a oued Ain trick puits O.Guellal a oued Boussellam, et même les différente unités industrielles qui sont dispersée sous le long de oued Boussellam déversent un volume très important d'eau usée industrielle chargée en matières en suspension le tous déversée dans l'oued Boussellam puits directement vers la cuvette du barrage de Ain zada qui est l'exutoire de tous ces rejets, et leur relation avec les apports polluants des affluents de l'oued Boussellam, étant donnée qu'ils sont les milieux récepteurs des rejets liquides. (Figure.124), Les polluants d'origine industrielle sont très variés selon le type d'activité, ils peuvent être; des substances organiques, sels minéraux, des métaux lourds, des produits organiques de synthèse. dont les principales unités industrielles sont montrée dans le (tableau n.73):

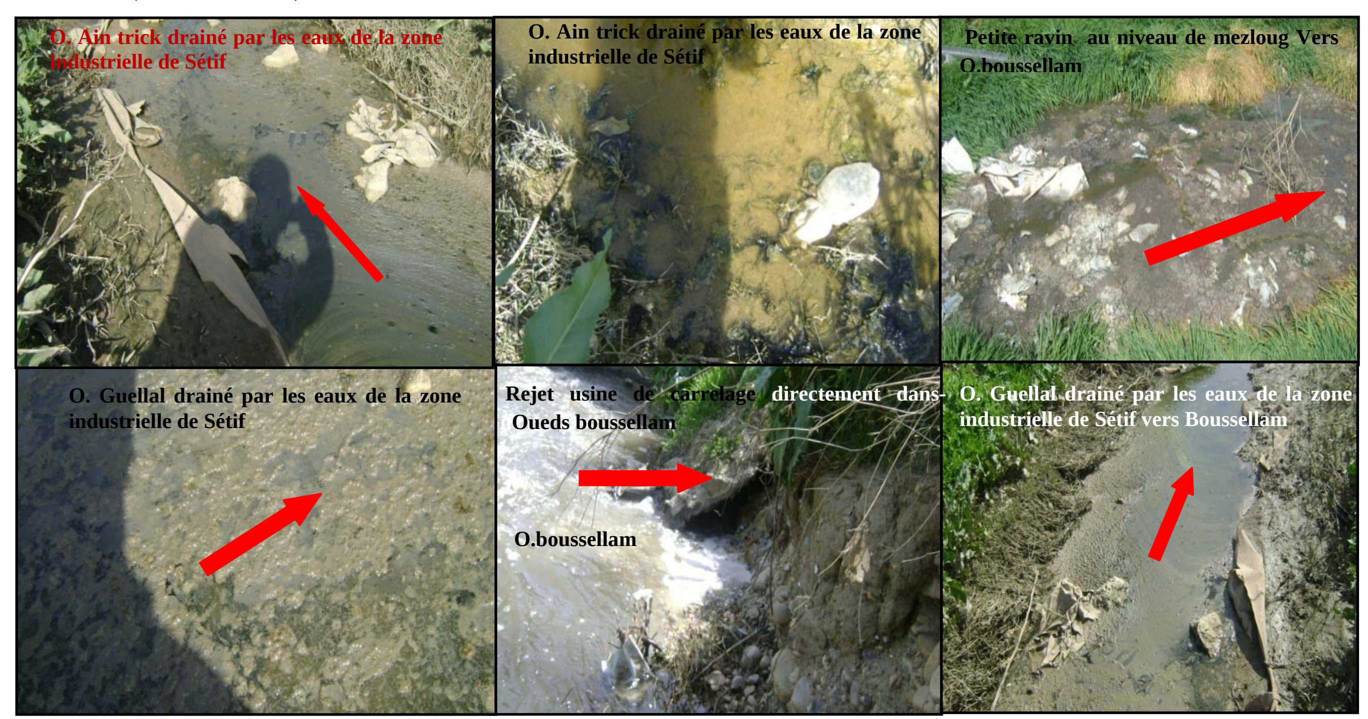


Fig.n.124:Ces images mettent en évidence l'influence négative de la zone industrielle sur la qualité des eaux d'oued Boussellam portée au niveau de Guellal a 10 km plus loin de la zone.

2.1. Le trafic routier et les stations de lavage et vidange et de carburants :

Le trafic routier qui est présenté par des milliers de km linière et les stations de lavage et vidange et de carburants des centaines de stations constituent une source de pollution des cours d'eau de la zone étudiée. Notons que, plus de cinq stations de carburant sont très proche à la cuvette du barrage (fig.n.130) et même aussi au cours de ces dernières années le parc automobile s'est développé de manière significative, ce qui a entraîné une augmentation du risque de pollution.

Les sources chroniques d'éléments traces métalliques en milieu routier sont de deux sortes, les véhicules et les infrastructures routières. Les émissions polluantes liées aux véhicules sont dues en partie, à l'abrasion et la corrosion des matériaux solides du véhicule et en partie à l'utilisation de différents fluides. Les principaux matériaux solides à considérer sont les pneumatiques, les garnitures de freins et la carrosserie. Les flux de plomb, de zinc et de chrome provenant de la corrosion des pneumatiques sont importants. Les garnitures de freins sont à l'origine d'apport en cadmium, chrome et plomb.

L'utilisation de divers fluides comme le carburant, les graisses de lubrification ou l'huile de moteur, contribuent également aux émissions polluantes des véhicules. Le carburant est la principale source du plomb, cela s'explique par l'ajout de dérivés alkylés du plomb (tétraéthyle et tétraméthyle de plomb). Le zinc est très présent dans les huiles du moteur ou les lubrifiants, dans lesquels il est ajouté comme antioxydant *(Falahi Ardakani, 1984)*. Il est également présent dans le fluide de transmission. Le cuivre est faiblement rencontré dans les fluides cités, seul l'antigel en contient en quantité notable. Le plomb et le zinc sont les principaux éléments rélargies au cours de la corrosion des infrastructures routières.



Fig.n.125:Ces images mettent en évidence l'influence négative des routes et sur la qualité des eaux d'oued Boussellam

Plusieurs stations de lavage et quarante et une (41) station de carburants sont dispersées dans le bassin d'étude, la majorité concentrée dans la ville de Sétif et sur l'axe Ain taghrout-Sétif et les différentes unités industrielles, déversent leur rejets dans les affluents de Oued boussellam (O.ain trick, O.guellal et O.khalfoune) (Tab. n° 72).

Tab. n° 72: La répartition des stations de lavage et vidange à travers la zone d'étude.

Communes	**Essences+Gaz-Oil**							**Sirghaz**		
	Nb/Sta	**Cap/ m^3**	**Vente En –Hl-**					**Nb/ Station**	**Cap/ m^3**	**Vente EnL**
			ESS	G.O	KER	FUEL	TOTAL			
Sétif	15	1162	19970	74965	397	-	95332	3	60	6692815
Ain Arnet	3	400	3300	25545	0	-	28845	1	20	1533515
El Ouricia	2	210	2130	13410	0	-	15540	0	0	0
Mezloug	0	0	0	120	0	-	120	0	0	0
Ain Oulmène	4	346	3640	11560	0	-	15200	0	0	276364
Guellal	1	60	790	4320	0	-	5110	0	0	0
Ksar El Abtal	1	90	1990	8930	0	-	10910	0	0	0
O. Si Ahmed	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0
Guedjel	3	370	2640	11160	0	-	13800	1	10	1360660
Salah Bey	2	135	2090	12060	0	-	14150	1	10	1527597
Ouled Tebben	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0
Rasfa	1	110	1170	6600	0	-	7770	1	10	0
Ain taghrout	03	400	3000	21000	0	-	23000	1	10	1596231
Tixter	01	60	800	4100	0	-	4900	0	0	0
Bir kasd ali	02	200	2000	13000	0	-	15000	0	0	0
Ras el oued	03	380	3500	11000	0	-	14500	1	10	356213
Ain tessera	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0
Total	**41**									

Tableau.73:Les unités industrielles les plus polluants de l'amont de oued Boussellam (qui se trouve dans la zone industrielles de Sétif et Ain Oulmène)

Groupe	Entreprises	Activité	Capacité de production Théorique	Capacité de production Reelle	Matières premières	Produits chimiques utilisés	Consommat en eau	Rejets liquides	rejet solide
GROUPE .E.N.P.C	**Unité sacs et films**	films agricoles, emballage	10.000T/An	6.500T/An	Polyéthylène granulé. P.E.B.D	Alcool éthylène - encre, Isopropilyque, isopropanol.	11 m^3/j	8 m^3/j	20T/an
GROUPE .E.N.P.C	**Unité articles techniques**	des bacs, des clayettes, des capsules, des articles	1.200T/An	720T/An	Polyéthylène granulé basse densité (PEBD)	Additifs, colorants	41 m^3/j	38,6 m^3/j	36T/An 05T/An déch publique
GROUPE .E.N.P.C	**Unité mailles extrudées**	des caisses, gaines électriques, mailles	12.000 T/An	4.000 T/An	Polyéthylène, polystyrène polypropylène,	Additifs colorants-Hydrogène Cyanure de potassium	13m^3/j	04m^3/j	40T/An(30T/An récupé. 10T/An déche publique)
GROUPE .E.N.P.C	**Unité calandrage**	Transf et production de feuilles souples en PVC	2.400T/An		Acétate d'éthylène, méthyléthylcetone	Stabilisant à base: Ba, Zn, Cd, Pb, encres adhésifs, plastifiant	10 m^3/j	4m^3/j	72T/An(67T/An récupérable 05T/An décharge publique
GROUPE .E.N.P.C	**Unité moules et outillages**	des moules injection et pièces de rechange	Matières premières Acier	Sels de cyanure, acide sulfurique, acide nitrique, alcool, formoles, phénolphtaléine, trichloréthylène, charbon de bois, k, potassium, gaz carbonique, acide chromique, nitrate d'argent			10 m^3/j	7m^3/j	06T/An(décharge publique) 4800l/mois rejetée directement dans le réseau de la zône sans traitement
GROUPE .E.N.P.C	**Unité tubes**	tubes en PVC pour le besoins de l'agricl et L'AEP	3200T/An	PVC, complexe phosphatedibasique de pb, cetyle palmitale, stériate dibasique de pb, cive paraffine, acide stéarique, carbonate de ca.			13m^3/j	5m^3/j	120T/An papier Craft récupéré 96T/An PVC -06 T/An déch publique
GROUPE .E.N.P.C	**Unité revétement de sols**	Fabri de tube d'irrigation Ø90 et 75mm	200T/An		PEBD, plastifiants, stabilisants, lubrifiants	Plastifiant à base de DOP, stabilisant à base de Ba, Cd, Zn et Pb lubrifiant	22m^3/j	13m^3/j	6T/An de polyéthyléne(4,5 récupére 1,5 décharge publique
GROUPE .E.N.P.C	**Com:piles et accumulateurs**	Production de piles et accumulateurs	70.000 piles/jour. 1.400 accum/jour		plomb, bioxyde de manganèse, acide sulfurique, zinc.	étain, farine, amidon de mais	500m^3/j	200 m^3/j contaminés par les acides et les métaux lourds	Boues contenant des métaux lourds 192m^3/an stockées -Piles rebutée 47000/an rejetées à la décharge
GROUPE .E.N.P.C	**menuiserie plastique**	Fabrication de portes et fenêtres en PVC	3000T/An		PVC +Additifs	_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _	10 m^3/j	8m^3/j	150T/An de PVC:-141 récupérables. - 09 décharges publiques
	E.M.A.C SETIF	Fabrication des chaussures de sport	1000paires /j		Cuir naturel, synthétique, semelles en caoutchouc, synderme en carton	colles à base de néoprène et poluréthane, teinte, isocyanate	16m^3/j	13 m^3/j	20Kg/j de déchets de cuir et de synderme rejetée à la décharge publique
	Complexe Lahmar Chérif Sétif	semoule et dérivés (pates	300T/j		Blé dur, blé tendre		350 m^3/j	330 m^3/j	Les eaux de lavage chargées de déchets de matière organique rejetées dir ectement dans 'Oued Boussellam' sans traitement
	O.R.A.V.I EST: SETIF	Abattage avicole	15000 poulets/j	7500 poulets/ j	_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _		50m^3/j	49m^3/j	les abats, les plûmes et le sang Le rejet contenant du sang regagne le réseau sans traitement
	Abattoir communal APC DE SETIF	Abattage d'animaux (Ovins, Bovins)	200 têtes/j ovins, 30 têtes/jour bovins		_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _		73 m^3/j	68 m^3/j	1500 l/j de sang est rejetée dans le réseau sans traitement Les carcasses et les organes infectés sont chaulés et rejetés dans la décharge publique
	SAFCER SEKLOULI	Fabrication de faïences	1500m^2/j	1100m2/j	SiO_2, B_2O_3, P_2O_5, AL_2O_3, ZnO, Blanc opaque		12.7m^3/j	3.7m^3/j	Les eaux usées industrielles, contaminées par le produit de l'émaillage sont déversées dans la nature provoquant au secteur agricole
	O.R.E.LAIT MEZLOUG	lait et yaourt	160.000 l/j laits 250.000 p/j yaourts		Poudre de lait, Matières grasses (M.G.L.A.)		1500m^3/j	480m^3/j	les eaux usées sont rejetées dans l'Oued Boussellem créant ainsi un déséquilibre de la faune et de la flore.
	E.N.A.S.E.L AIN OULMENE	conditionné à usage alimentaire et industriel	13.000T/an		Saumure	Iode	06m^3/j		Une quantité d'eau saumatre issue de la station de lavage de sel est rejetée dans les terrains limitrophes
	BATIMETAL charpente A. OULMENE	charpente et des pylônes métalliques	7500T/An		Aciers		09m^3/j		
	E.N.I.P.E.C Unité cuirs	Produit du cuir synthétique					12m^3/j	8m^3/j	
	E.P.R.E Setif Briquitrie	Production de briques	100.000T/An		Argile		50m^3/j	40m^3/j	4000T/an et des gaz de Fluor, CO, CO_2, SO_2, CL_2
	E.N.M.G.P A.Oulmene	fabrique des portes, fenêtres et meubles	500.000m^2/j(8000logts/an)		Bois	Colle, peintures, vernis	20m3/j	16m3/j	
	S.N.V.I SETIF	maintenance des véhicules industriels					40m3/j	28m3/j	
	S.I.T.R.W.S: SETIF	réalisation des réseaux d'assainissement.					55m^3/j	53m^3/j	

3. Pollution Agricole

Cette pollution est liée essentiellement à :

- l'existence dans le bassin versant de Boussellam amont de plusieurs fermes pratiquant divers élevages, entre autres avicole (fig.126), qui ne dispose d'aucun équipement de sécurité contre la pollution par leurs rejets (fig.127)
- l'utilisation intensive des engrais riches en NO_3^-, PO_4^{3-} et SO_4^{2-} et des pesticides lessivés par les écoulements de surface qui rejoignent le cours d'eau et les nappes par des mouvements horizontaux ou verticaux.



Figure n.126: Différentes activités agricoles dans le sous bassin de Boussellam amont



Fig.n.127:Ces images mettent en évidence l'influence négative des rejets agricole sur la qualité des eaux d'oued Boussellam.

La pollution agricole est caractérisée surtout par la présence de fortes teneurs de nitrates dans les eaux. Cela est du à l'utilisation excessive de l'azote sous ses différentes formes : engrais chimiques, effluents d'élevage et effluents agro-alimentaires. Elle est aussi définie par la présence des phosphates, qui est responsable la production végétale dans l'eau.

Un apport excessif de phosphore provoque la prolifération et la croissance des plantes dans les eaux de la cuvette du barrage (algues), ce qui provoquerait, par la suite, l'apparition de cyanophycées qui fixent l'azote (fig. 128).

Ce dernier est consolidé avec le phosphore contenu dans les sédiments en présence de l'oxygène existant dans le milieu aquatique. Le manque d'oxygène dans le milieu aquatique engendre la mort des poissons (fig.129) et la destruction des plantes, l'azote et le phosphore piégés dans les sédiments sont relâchés dans l'eau, ce qui engendre une eutrophisation du milieu aquatique. Pour y remédier, il faut agir sur la diète phosphorée.

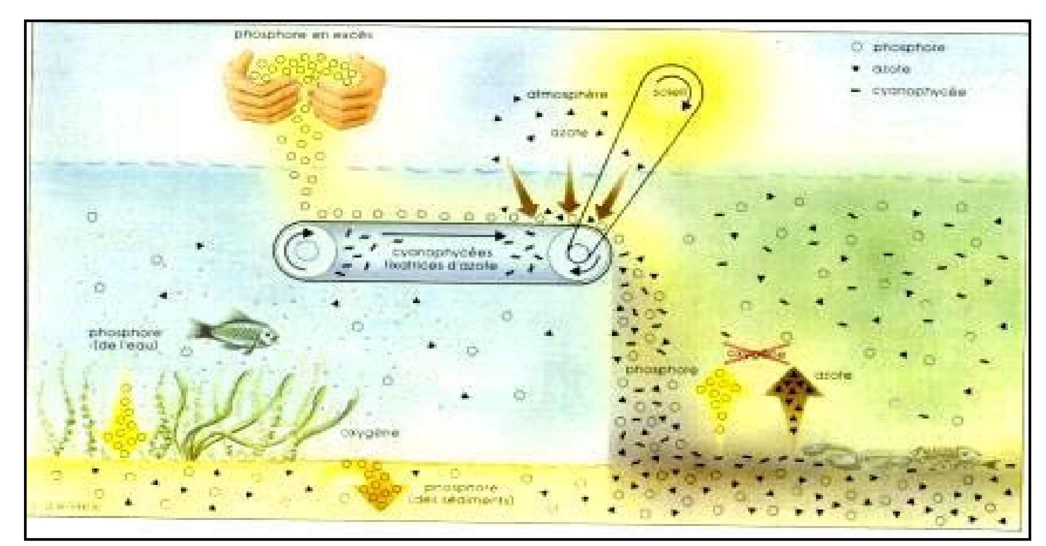


Fig. 128 : Schéma de pollution par les phosphates



Fig. 129 : photo de la mort d'un poisson flotté à la surface des eaux de la cuvette du barrage de Ain zada.

LEGENDE **:**

: Communes, villes et Agglomérations.

: Centre Thermale de Hammam Ouled Yelles.

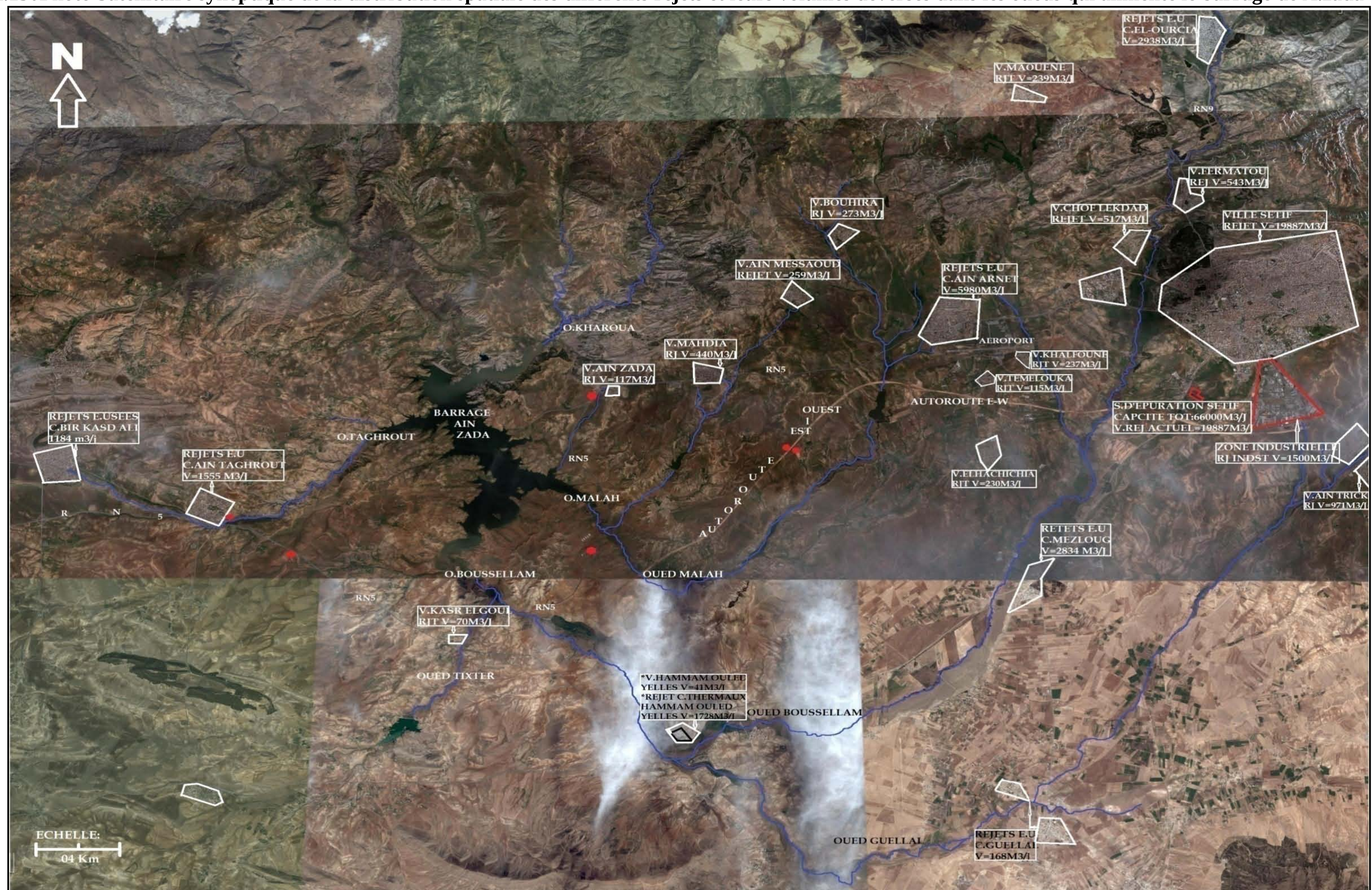
: Zone industrielle de Sétif et Station d'épuration de Ain sfiha (Sétif).

:Stations de Lavage, Vidange et Carburants les plus proches de la cuvette du barrage.

: Des superficies d'activités agricoles et des fermes.

: Des oueds et des cours d'eaux alimentent la cuvette du barrage.

Fi.130Photo Satellitaire synoptique de la distribution spatiale des différents rejets et leurs volumes déversés dans les oueds qui alimente le barrage de A.zada



III. Altération de la qualité des eaux :

A. Origines et effets de la pollution organique :

Les rejets renfermant des substances organiques sont à l'origine de la consommation de l'oxygène présent dans le milieu aquatique récepteur et peuvent tuer toute vie dans le cours d'eau, s'ils sont trop abondants.

La pollution par les matières organiques peut être caractérisée par différents paramètres dont principalement :

1. La demande Chimique en Oxygène (DCO) :

Elle représente la quantité d'oxygène consommée, exprimée en milligrammes par litre, par les matières oxydables chimiquement contenues dans un effluent.

La DCO constitue un précieux paramètre indicateur de la présence des polluants dans les eaux résiduaires. Elle est représentative de la majeure partie des composés organiques mais également de sels minéraux oxydables (sulfures, chlorures).

Pour les eaux résiduaires industrielles, la DCO peut atteindre plusieurs grammes par litre.

2. La demande Biologique en Oxygène au bout de 5 jours (DBO_5) :

Elle exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques d'une eau par les micro-organismes du milieu. Pour une eau naturelle superficielle (rivière, barrage,étang,..) ce paramètre traduit la consommation d'oxygène relative au phénomène d'autoépuration.

3. Le rapport DCO/DBO_5 :

Ce rapport évalue la biodégradabilité d'une eau usée, c'est-à-dire la faculté de transformation de la matière organique en matière minérale, admissible par le milieu naturel.

- Pour les eaux d'origine d'un effluent à dominante domestique, ce rapport est généralement compris entre 2 et 3
- Pour les effluents d'industries agroalimentaires, il est inférieur, de l'ordre de 1,5 à 2, ce qui traduit une meilleure biodégradabilité.
- Enfin, lorsqu'il est supérieur à 3 cela traduit l'apport d'un effluent industriel plus ou moins difficilement biodégradable. Les tableaux (N°73.A et 73.B) suivant déterminent les valeurs de ce rapport (mensuel et annuel).

Tabl.n.73.A:Rapport DCO/DBO_5 pour les eaux du barrage d'Ain zada par les moyennes annuelles

Années	**88**	**89**	**90**	**91**	**92**	**93**	**94**	**95**	**96**	**97**	**98**	**99**	**00**	**01**	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**	**07**	**08**	**09**	**10**	**moy**
DCO mg/l	20	31	39	47	32	57	54	59	44	56	62	58	53	45	46	41	33	48	41	46	56	55	62	**47,1**
DBO_5 mg/l	5	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	3	3	4	3	4	4	5	4	4	6	**3,8**
DCO/DBO_5	**4**	**9**	**14**	**12**	**8**	**15**	**14**	**15**	**11**	**15**	**19**	**18**	**14**	**14**	**15**	**11**	**11**	**12**	**9**	**10**	**14**	**13**	**10**	**12,3**

Tabl.n.73.B:Rapport DCO/DBO_5pour les eaux du barrage d'Ain zada par les moyennes mensuelles

Mois	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Avr**	**Mai**	**Juin**	**Juil**	**Aou**	**moy**
DCO mg/l	40	50	50	50	46	42	48	49	52	43	54	54	**48,06**
DBO_5 mg/l	4	5	5	4	5	3	4	4	3	4	4	4	**3,92**
DCO/DBO_5	**11**	**11**	**11**	**14**	**9**	**12**	**14**	**14**	**19**	**11**	**15**	**12**	**12,26**

Les résultats obtenus du rapport **DCO/DBO_5** soit pour les analyses des moyennes mensuelle ou les moyennes annuelles des eaux de la cuvette du barrage de Ain zada montre que tous les valeurs sont supérieurs à 3 (Fig.94 chapitre V)ce qui traduit l'influence d'une pollution industrielle plus ou moins difficilement biodégradable.

B. Conséquences de la pollution organique :

Les eaux résiduaires urbaines rassemblent :

- Les eaux grises (eau de cuisine et des bains) chargées en détergents et savons,
- Les eaux vannes ou noires (eau des WC) chargées en urines et fèces.

Dès l'arrivée dans le cours d'eau (les oueds) puits a la cuvette du barrage, soit par ruissellement suite à des fuites dans le réseau d'assainissement ou par déversement direct. Ces matières organiques sont transformées en matières minérales par l'action bactérienne en aérobiose provoquant une oxydation, puis en anaérobiose engendrant une fermentation si la réoxygénation naturelle du cours d'eau n'est pas suffisante. Un gaz carbonique résulte de cette transformation, une partie s'échappe dans l'air et l'autre partie se dissous dans l'eau accentuant le taux de concentration des nitrates et des phosphates.

C. Détermination et calcul de la pollution organique dans le barrage de Ain zada:

Pour caractériser la pollution organique au niveau du barrage de Ain zada, plusieurs méthodes ont été utilisées.

On a procédé par le calcul de l'Indice de Pollution Organique (I.P.O) par deux méthodes :

1. la première, en utilisant un logiciel nommé '**Aquakit**' ;

2. la seconde, par l'emploi de 3 méthodes de calcul d'indice de pollution. Il s'agit de :

a. la méthode de l'**I**ndice de **P**ollution **O**rganique (I.P.O) établi par Leclercq & Maquet, 1987;

b. la méthode de Lisec-index établie par Beckers & Steegmans, 1979 ;

c.la méthode de classification des paramètres de l'**I**nstitut d'**H**ygiène et d'**E**pidémiologie (I.H.E), 86.

1. Utilisation du logiciel « Aquakit » :

1.1. Présentation du logiciel :

Ce logiciel comprend trois petits programmes 'Aquexmono', 'Aquexmulti' et 'Aquexsimple' établis à partir d'un tableur Excel permettent d'extraire les données d'**Aquakit**', de les encoder et de les présenter en graphiques pour faciliter les interprétations.

Les principales mesures physico-chimiques de la station choisie sont reprises sur la feuille de synthèse, et interprétées dans 3 groupes principaux.

1.1.1. La composition chimique globale :

Un graphique en secteurs reprend les concentrations des principaux ions (exprimées en milliéquivalents/Litre). Cette représentation permet de vérifier l'égalité entre la charge électrique totale des ions positifs et celle des ions négatifs.

Si la concentration des ions Na+ n'a pas été mesurée, ces ions sont ajoutés pour obtenir cette égalité, en négligeant les concentrations, généralement très faibles, des autres ions qui n'ont pas été analysés comme les ions métalliques.

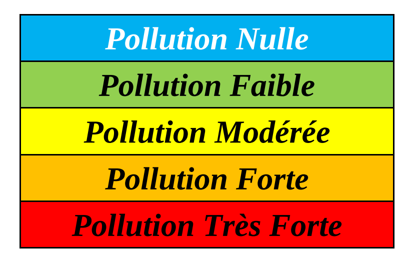
1.1.2. Les indicateurs géologiques :

Les indicateurs géologiques sont des ions qui peuvent être libérés par les roches du sol ou du sous-sol et dont la présence est normale dans une eau de rivière. Ces ions sont repris sur un graphique type 'radar' qui permet de relier l'eau de la rivière à un profil caractéristique de la région où elle s'écoule.

1.1.3. Les indicateurs de pollution organique :

Ces indicateurs regroupent les phosphates et les ions dérivés de l'azote qui proviennent des pollutions organiques.

Un indice de pollution organique I.P.O, calculé à partir des concentrations de ces ions, permet de classer l'eau analysée sur une échelle à 5 niveaux de pollution. Des classes ont été établies à partir des modifications induites par les polluants dans les peuplements d'algues. L'indice le plus élevé correspond à une pollution nulle et, le plus bas à une très forte pollution.



On inclut habituellement dans le calcul de l'I.P.O, la demande biologique en O2 à 5 jours (DBO5).

Pour caractériser le type de pollution, le tableau de référence suivant a été établi avec les différents éléments de calculs selon les cinq classes.

Tabl.74: Les différents éléments chimiques entrant dans le classement de la pollution organique.

	$NH4^{+}$ (mg N/L)	NO_3^- (µg N/L)	PO_4^{3-} (µg P/L)	DBO_5 (mgO_2/L)	I.P.O	ollution Organique
Classe 5	< 0,1	< 6	< 16	< 2	5 – 4,6	**Nulle**
Classe 4	0,1 – 0,9	6 – 10	16 – 75	2 – 5	4,5 – 4	**Faible**
Classe 3	1 – 2,4	11 – 50	76 – 250	5,1 – 10	3,9 – 3,0	**Modérée**
Classe 2	2,5 – 6	51 – 150	251 – 900	10,1 – 15	2,9 – 2,0	**Forte**
Classe 1	> 6	> 150	> 900	> 15	1,9 – 1,0	**Très Forte**

1.1.3.1. Les indicateurs d'eutrophisation :

Ces indicateurs regroupent les nitrates et surtout les phosphates : ils représentent le stade final de la dégradation des polluants contenant de l'azote et du phosphore dans les eaux du barrage.

Ils n'ont pas un caractère toxique direct pour les êtres vivants dans les eaux du barrage, mais ils peuvent provoquer un déséquilibre de l'écosystème en favorisant un développement anarchique des plantes aquatiques.

1.2. Mode d'emploi du logiciel :

Le mode d'emploi est très facile. Il suffit de faire remplir la feuille Excel par les résultats des différents éléments de l'analyse chimique. Les calculs et les représentations graphiques se font automatiquement.

1.3. Résultats d'application du logiciel sur les résultats d'analyse des eaux du barrage de Ain zada et interprétation :

Dans notre étude les analyses chimiques des eaux du barrage utilisées et celles des services étatiques concernés l'ANRH , Le traitement des données chimiques des eaux du barrage de Ain zada par l'Aquakit, donne les figures de 131 a 152 respectives aux analyses des années de 1988 a 2010 de l'échantillonnage mensuelle de toute cette période d'étude, dont les années les plus importantes c'est les deux années extrêmes de cette période d'étude qui sont : l'année 1988 qui est l'année mise en service et l'année 2010 c'est la dernière année de cette période d'étude (état actuel).

*Selon la composition chimique des eaux du prélèvement de ces années et l'indicateur géologique:
Le calcium et le sodium sont les éléments les plus abondants des cations, avec une variance :

- de 15% à 23% pour le Ca^{2+}.
- de 15% à 25% pour le Na^{+}.

Les deux premières années de la mise en service du barrage 1988 et 1989, Le calcium est majoritaire respectivement de 20% et 22% et puits, Le sodium devient l'élément le plus abondant pour les cations dans les eaux du barrage pour le reste des années du 1990 jusqu'à 2010 avec une variance de 15% à 25%. Sauf dans les années 2002 et 2003 ou le magnésium domine respectivement 24% et 21% c'est l'année la plus pluvieuse de cette période d'étude .L'origine de ces trois éléments est purement géologique, elle est due au contexte géologique de la région étudiée.

Les chlorures et les sulfates sont les éléments les plus abondants des anions dans les eaux du barrage, avec une variance :

- de 16% à 26 % pour le Cl^{-}.
- de 12% à 18 % pour le SO_4^{2-}.

Et avec une présence de bicarbonates HCO_3^{-} variant de 9% et 15%, pour l'ensemble des années.

Le chlorure est l'élément le plus abondant pour les anions dans les eaux du barrage pour toutes les années de la période d'étude surtout pour les dernières années où il atteint des pourcentages dépassants les 26 %. Cette présence et dominance du chlorure est due aux rejets urbains et industriels qui arrivent à la cuvette du barrage et même au formations géologiques triasiques et les gisements de Guellal traversent par les eaux des différentes oueds qui drainent le barrage. Sauf les années 2003 et 2004 se sont celles les plus pluvieux de cette période ou le chlorure atteint respectivement 16% et 15% c'est les plus faibles pourcentages dues à la dilution.

Par contre, les sulfates sont présents dans l'ensemble des années d'observation variant de12% à 18%. Cette présence est due aux engrais phosphatés, azotés et sulfurés à cause de leur solubilité dans l'eau. Ces derniers sont parvenus dans les eaux du cours d'eau, soit par le lessivage des terres agricoles, soit par les eaux résiduaires urbaines ou industrielles.et même elle est due aussi au gisement et au formations géologiques gypsifère et du trias de la région de Guellal.

*Selon l'indice de pollution organique :

On remarque que la pollution organique sans DBO_5 est modérée dans la majorité des années telle que de : 92-96-98-99-05-08-09 et 2010 cela est due à l'arrivée des rejets industriels et urbain aux eaux de la cuvette du barrage. C'est la conséquence d'une eutrophisation du milieu aquatique qui est due à l'apport excessif en nutriments et en matières organiques biodégradables issues de l'activité humaine.

Ces nutriments proviennent principalement des phosphates et des nitrates, ils entraînent une multiplication en surface du phytoplancton. Cette multiplication excite les bactéries aérobies qui sont présentes en profondeur et consomment progressivement tout l'oxygène des eaux profondes qui ne peuvent pas se ré-oxygéner en raison du faible brassage des eaux.

Référence aquakit	Ain zada						
Localisation:	Barrage de Ain Zada	Date:	Année 1988			aturation	81 %
Température:	16,3 C°	Volume:	86.79 Mm³	conductivité:	820 mS/cm	O_2 :	mg/l

Composition chimique globale			Indicateurs de pollution				Indicateurs d'eutrophisation			
	mg/l	meq,/l			lasse	Pollution			Classe	Eutrophisation
Ca^{++}	80	3,992	NH_4^+ (mg N /l)	194	4	Faible	NO_3^- (mg N /l)	1,7		
Mg^{++}	30,33	2,496	NO_2^- (mg N /l)	9	4	Faible	PO_4^{3-}(mg P /l)	13	5	nulle
NH_4^+	0,25	0,014	PO_4^{3-}(mg P /l)	13	5	Nulle				
K^+	15	0,384	DBO_5 (mg O_2/l)	5,0	4	Faible				
Na^+	70,67	3,074	IPO:	avec DBO5:	4,25	Faible				
HCO_3^-	182,03	2,984		sans DBO5:	4,33	Faible				
Cl^-	132,5	3,738								
$SO_4^=$	154	3,207								
NO_3^-	7,5	0,121								
NO_2^-	0,03	0,001								
PO	0,04	0,001								

Référence aquakit	Ain zada						
Localisation:	Barrage de Ain Zada	Date:	Année 2010			aturation	82 %
Température:	16,4 C°	Volume:	98,96 Mm³	conductivité:	1354,3mS/cm	O_2 :	7,9 mg/l

Composition chimique globale			Indicateurs de pollution				Indicateurs d'eutrophisation			
	mg/l	meq,/l			Class	Pollution			Classe	Eutrophisation
Ca^{++}	85,23	4,253	NH_4^+ (mg N /l)	241	4	Faible	NO_3^- (mg N /l)	0,3	/	/
Mg^{++}	33,9	2,790	NO_2^- (mg N /l)	24	3	Modéré	PO_4^{3-}(mg P /l)	59	4	Faible
NH_4^+	0,31	0,017	PO_4^{3-}(mg P /l)	59	4	Faible				
K^+	5,1	0,130	DBO_5 (mg O_2/l)	6,4	3	Modéré				
Na^+	152,4	6,629	IPO:	avec DBO5 :	3,50	Modérée				
HCO_3^-	159,21	2,610		sans DBO5:	3,67	Modérée				
Cl^-	252	7,109								
$SO_4^=$	192,8	4,015								
NO_3^-	1,21	0,020								
NO_2^-	0,08	0,002								
PO_4^{3-}	0,18	0,006								

Figure .n. 131.b : Application du logiciel pour l'Année 2010

Figure .n.131.a : Application du logiciel pour l'Année 1988

Fig.N°.131: Exemple de calcul pour les analyses d'eau du barrage de Ain zada des deux années 1988 l'année mise en service et 2010 la dernière année d'analyse pour la période d'étude(1988/2010 d'après l'ANRH) avec le logiciel « Aquakit ».

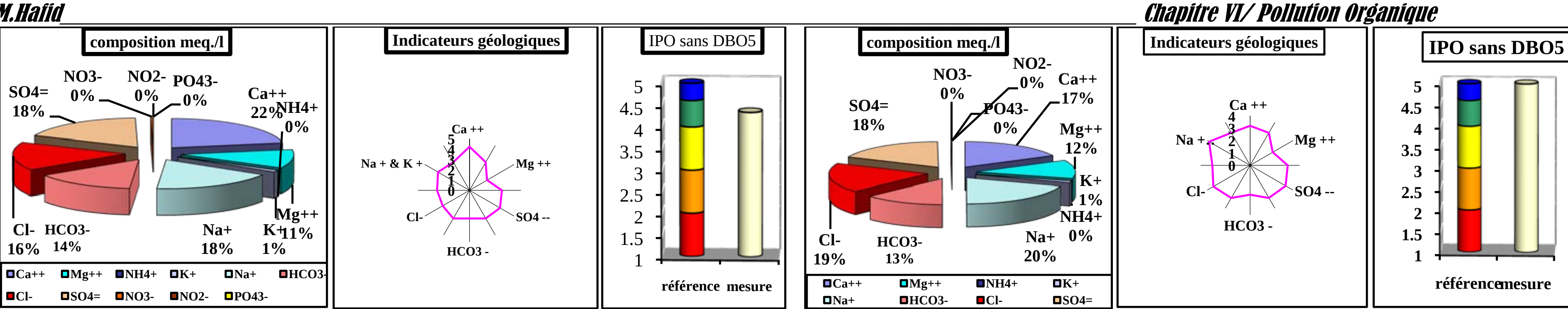
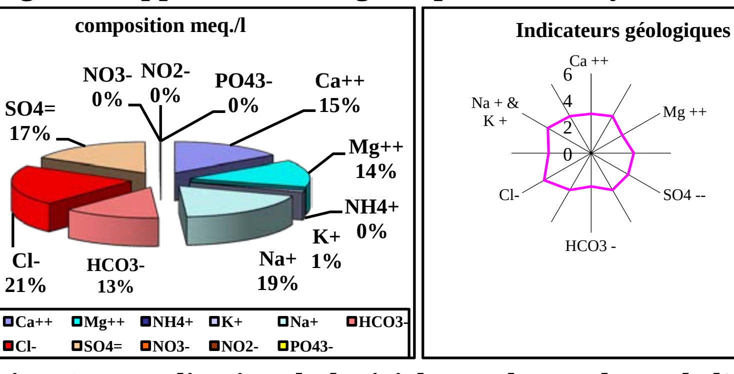
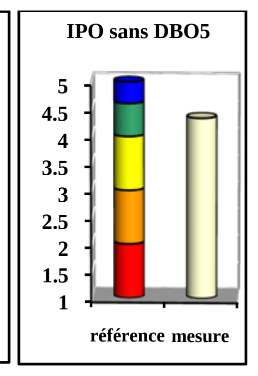
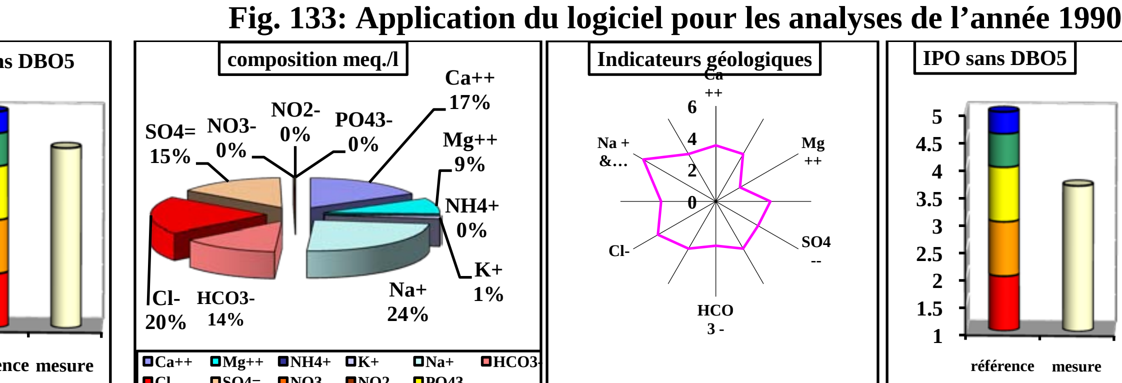
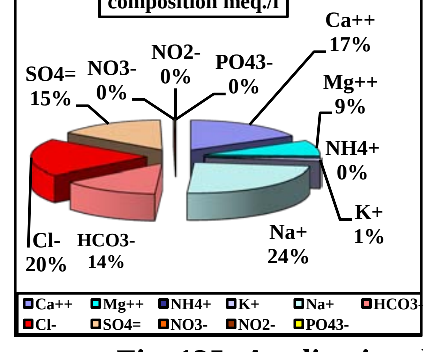


Fig. 132: Application du logiciel pour les analyses de l'année 1989

Fig. 133: Application du logiciel pour les analyses de l'année 1990





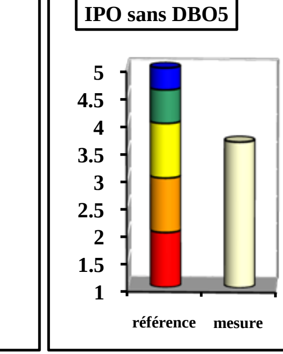


Fig. 134: Application du logiciel pour les analyses de l'année 1991

Fig. 135: Application du logiciel pour les analyses de l'année 1992

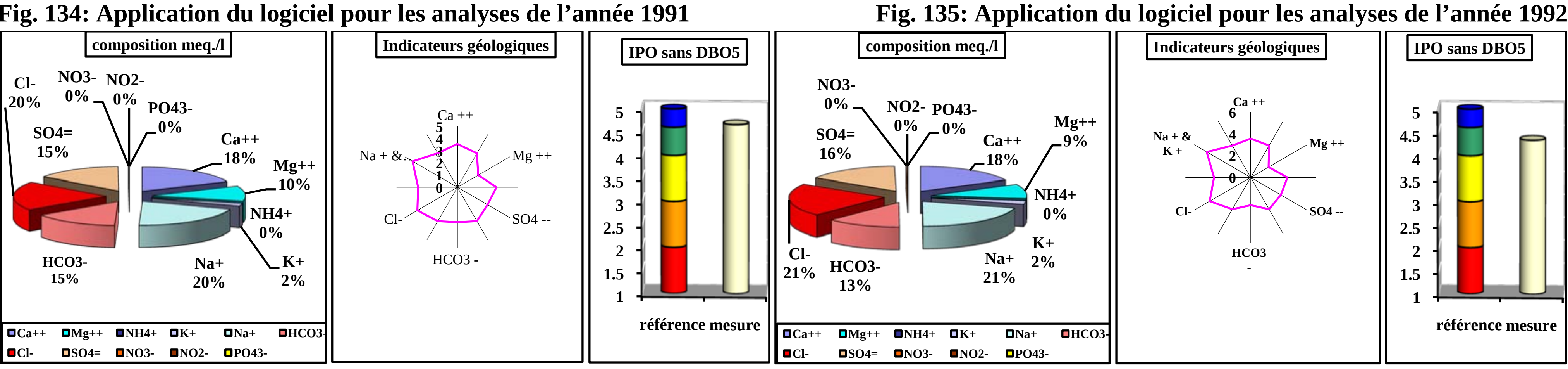
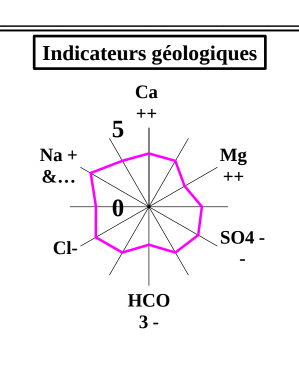


Fig. 136: Application du logiciel pour les analyses de l'année 1993

Fig. 137: Application du logiciel pour les analyses de l'année 1994

composition meq./l
NO3- 0%
NO2- 0%
PO43- 0%
SO4= 18%
Ca++ 17%
Mg++ 13%
NH4+ 0%
K+ 1%
Cl- 19%
HCO3- 12%
Na+ 20%
Ca++ Mg++ NH4+ K+ Na+ HCO3- Cl- SO4= NO3- NO2- PO43-



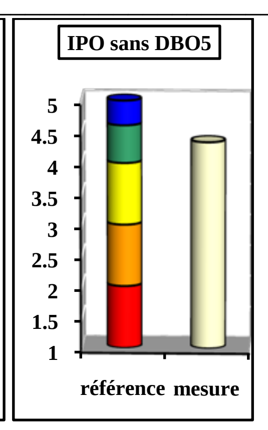
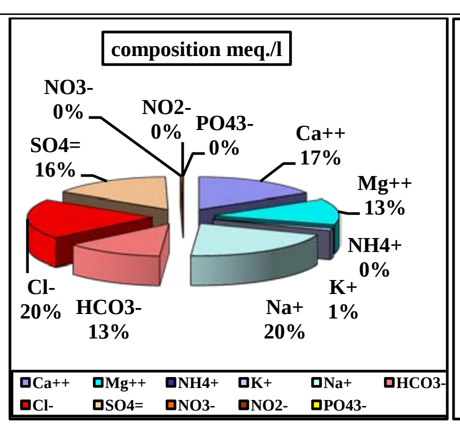
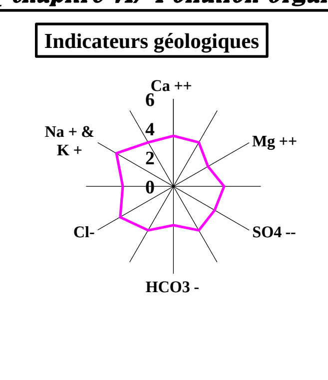


Fig. 138: Application du logiciel pour les analyses de l'année 1995





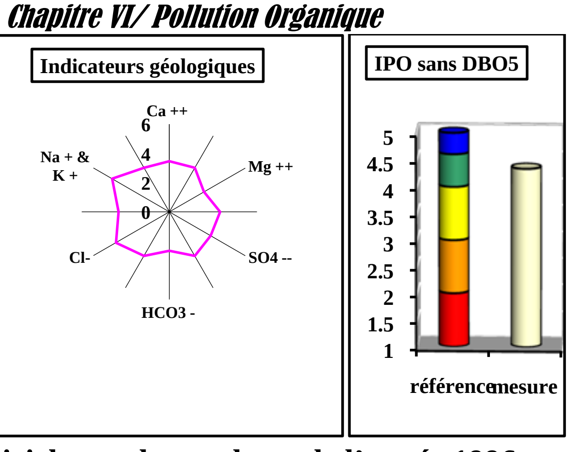
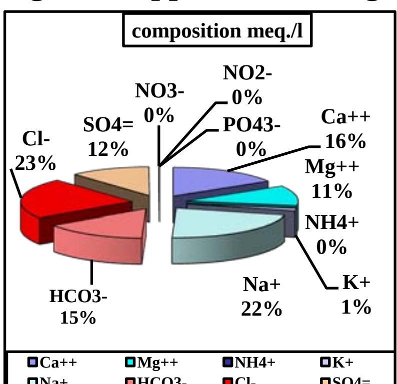
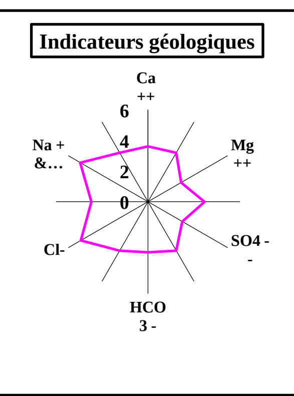


Fig. 139: Application du logiciel pour les analyses de l'année 1996





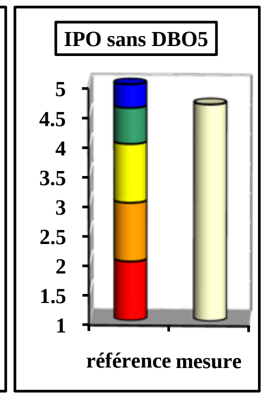
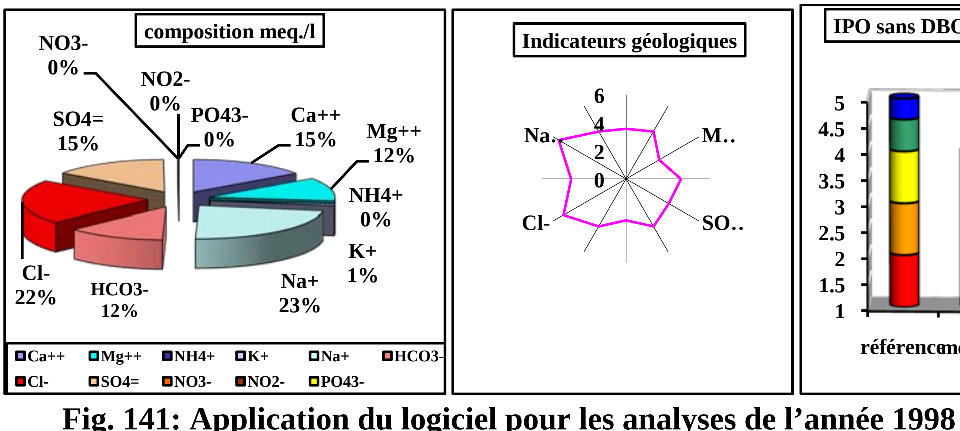
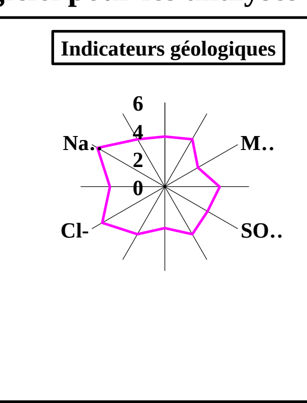


Fig. 140: Application du logiciel pour les analyses de l'année 1997





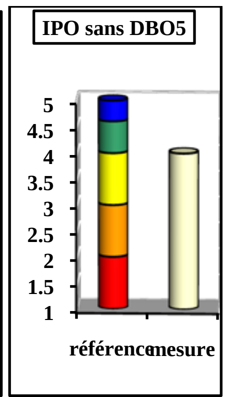
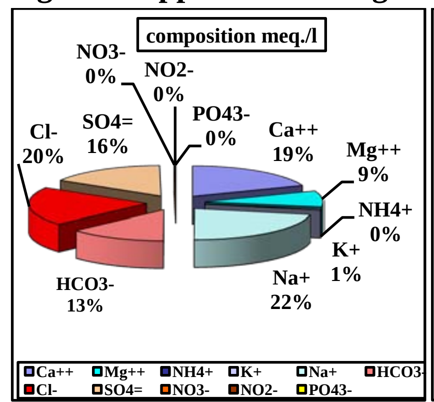
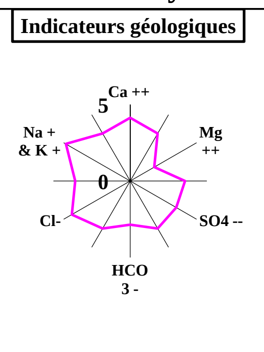


Fig. 141: Application du logiciel pour les analyses de l'année 1998





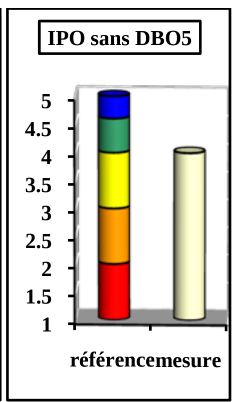
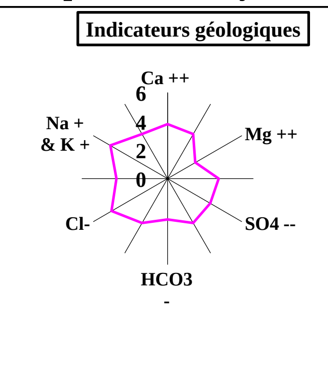


Fig. 142: Application du logiciel pour les analyses de l'année 1999

composition meq./l
NO3- 0%
Cl- 21%
NO2- 0%
PO43- 0%
SO4= 16%
Ca++ 18%
Mg++ 10%
NH4+ 0%
K+ 1%
HCO3- 13%
Na+ 21%
Ca++ Mg++ NH4+ K+ Na+ HCO3- Cl- SO4= NO3- NO2- PO43-



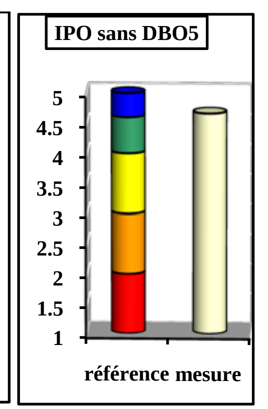


Fig. 143: Application du logiciel pour les analyses de l'année 2000

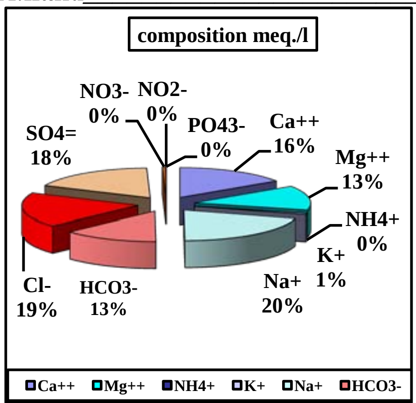
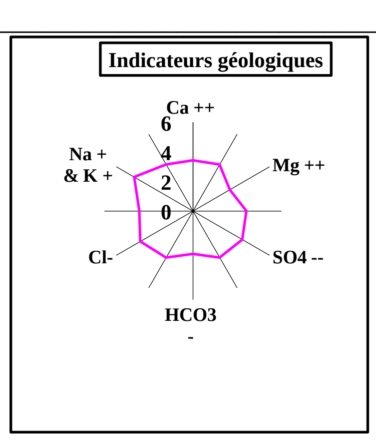
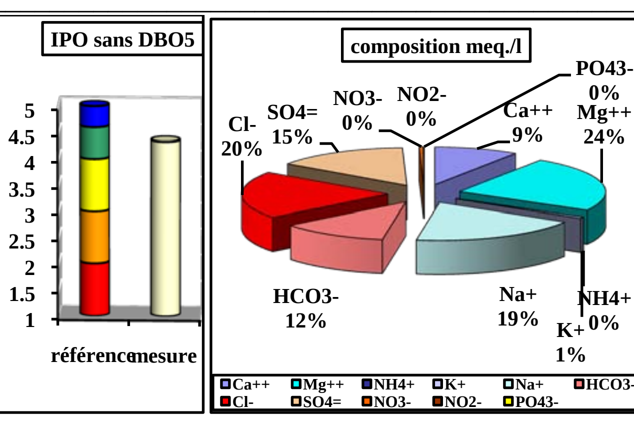
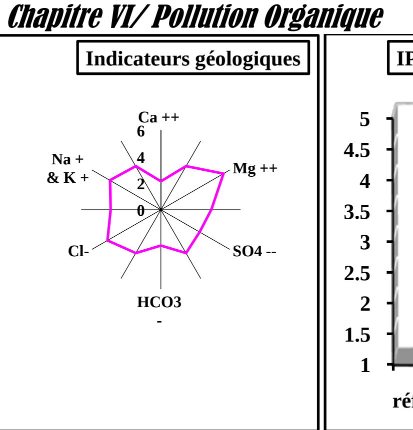
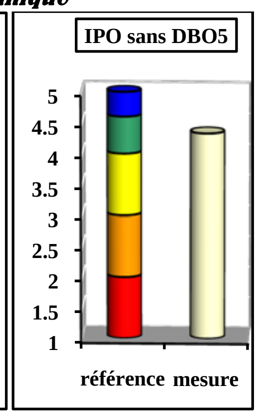






Fig. 144: Application du logiciel pour les analyses de l'année 2001

Fig. 145: Application du logiciel pour les analyses de l'année 2002

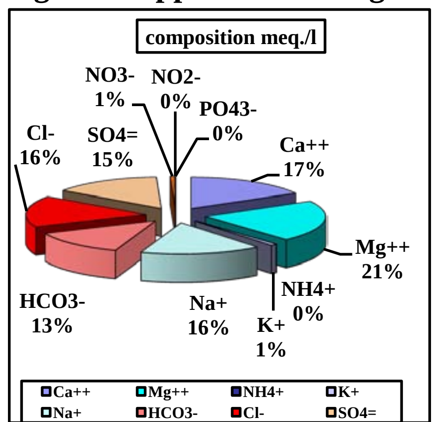
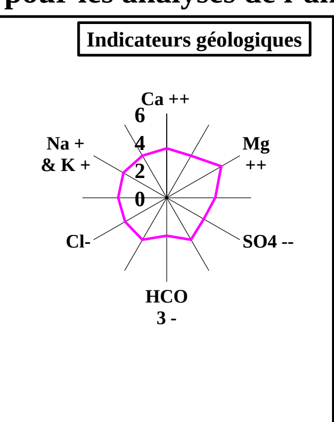
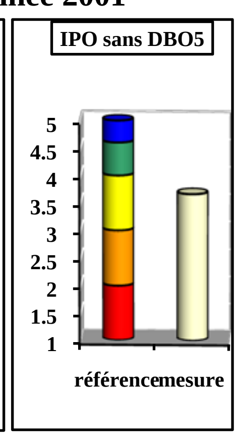
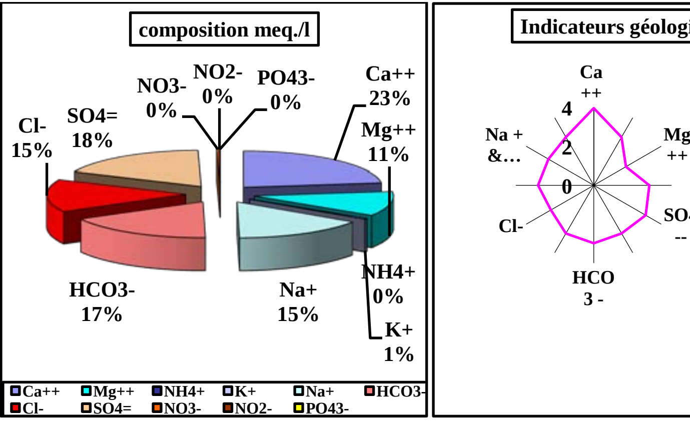
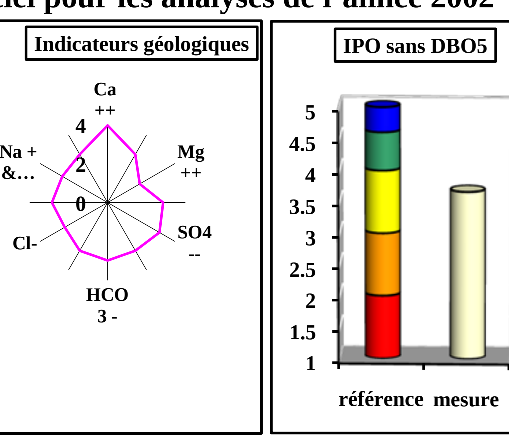






Fig. 146: Application du logiciel pour les analyses de l'année 2003

Fig. 147: Application du logiciel pour les analyses de l'année 2004

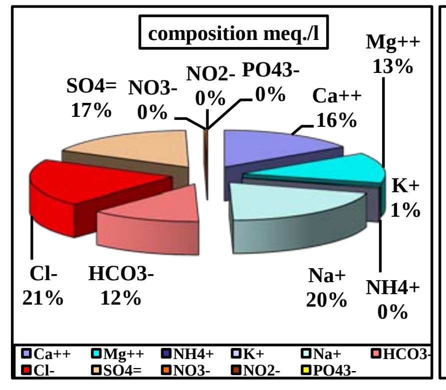
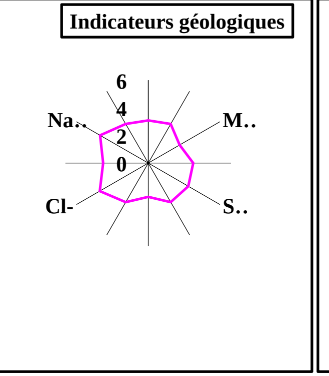
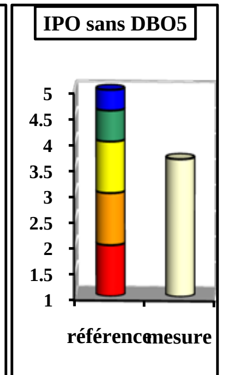
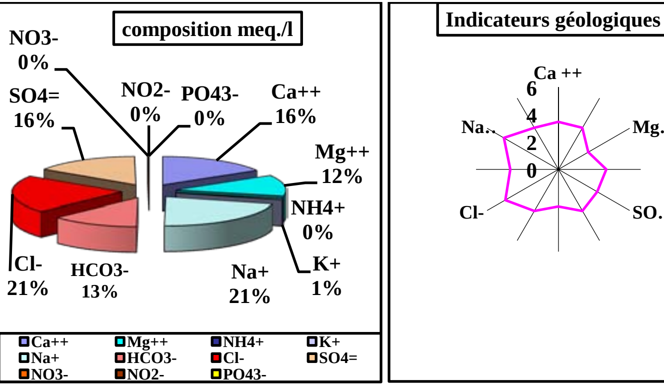
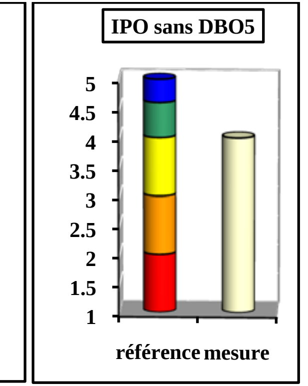
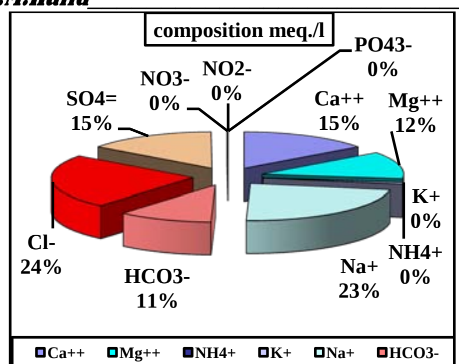
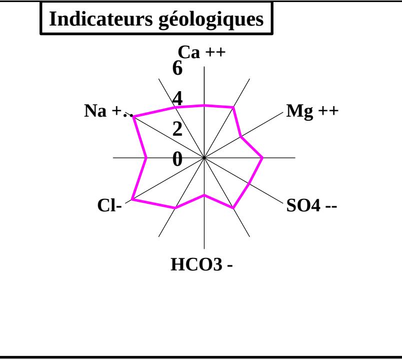






Fig. 148: Application du logiciel pour les analyses de l'année 2005

Fig. 149: Application du logiciel pour les analyses de l'année 2006





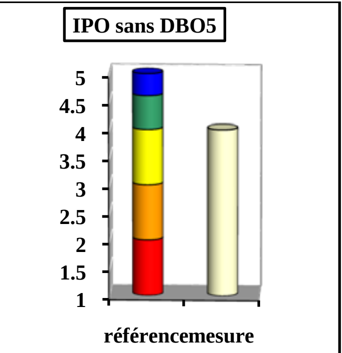
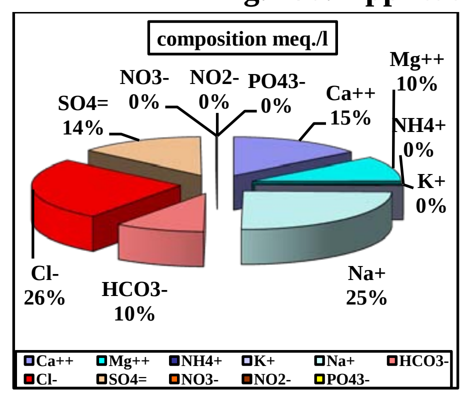
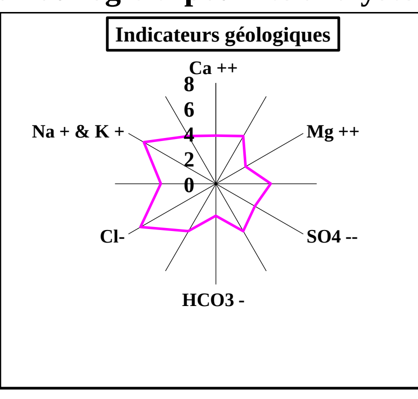


Fig. 150: Application du logiciel pour les analyses de l'année 2007





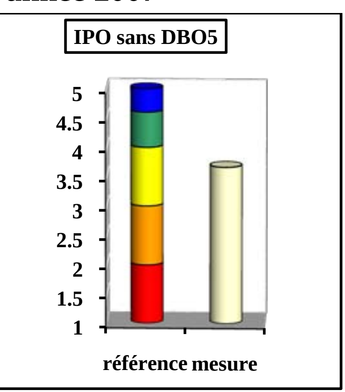
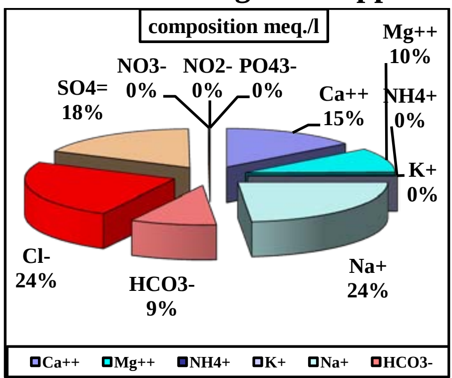
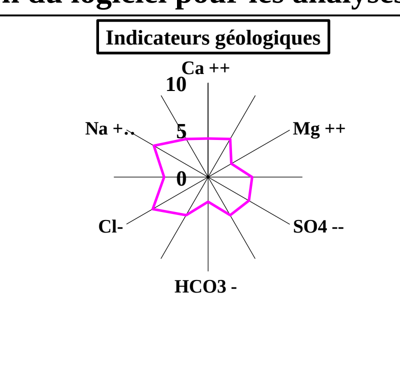


Fig. 151: Application du logiciel pour les analyses de l'année 2008





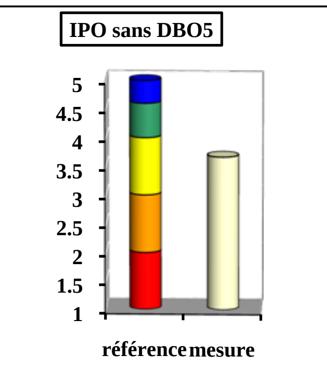


Fig. 152: Application du logiciel pour les analyses de l'année 2009

1.4. Critiques des résultats obtenus par le logiciel :

Cette méthode donne des résultats incomplets car on obtient un indice de pollution organique sans la DBO_5, ce qui ne nous donne pas une interprétation fiable et elle ne représente pas le vrais taux de pollution dans les eaux de la cuvette du barrage.

2. Principes des 3 méthodes de calcul d'indice de pollution :

Le manque de précision de la méthode précédente nous a obligé à utiliser d'autres méthodes de calcul avec plusieurs paramètres y compris la DBO_5.

Ces méthodes chimiques sont effectuées à partir des résultats de plusieurs éléments tels que : L'oxygène dissous, la DCO, la DBO_5, NH_4, NO_2, NO_3, PO_4 et l'oxydabilité. Elles représentent des avantages autant que des inconvénients.

a. Avantages de la méthode chimique :

Elle reste le seul moyen d'identifier la nature exacte des polluants et les teneurs qu'ils peuvent atteindre.

b. Inconvénients de la méthode chimique :

Les analyses chimiques sont généralement momentanées. Vu les importantes fluctuations journalières en charges polluantes, un prélèvement momentané (à une fréquence temporaire faible) est très peu fiable et il serait téméraire d'effectuer une cartographie ou une surveillance de la qualité des eaux sur cette seule base aléatoire.

Pour mieux évaluer cette pollution organique, on a fait appel au calcul de l'indice de pollution par trois méthodes présentées ci-après.

2.1. Méthode de l'Indice de Pollution Organique (I.P.O) par Leclercq & Maquet, 1987 :

Cette méthode est mise au point à partir de plus de 1000 analyses chimiques et biologiques. Le principe est de répartir les valeurs des éléments polluants en 5 classes, puis de déterminer, à partir de ses propres mesures, le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre puis d'en faire la moyenne des numéros de classe avec les trois autres éléments. La fragilité du milieu d'étude a été prise en compte par le suivi des nutriments minéraux dans le cours d'eau (NO_3, NH_4 et PO_4) (Cornaz, 2004).

Tabl.75 : Les normes appliquées pour chaque élément chimique entrant dans le calcul de l'indice de pollution organique suivant les 5 classes selon l'I.P.O.

N° Classes	DBO5 (mg O2/L)	NH4 (mg N/L)	NO2 (µg N/L)	PO4 (µg P/L)
5	> 2	< 0,1	5	15
4	2 – 5	0,1 – 0,9	6 – 10	16 – 75
3	5,1 – 10	0,91 – 2,4	11 – 50	76 – 250
2	10,1 – 15	2,5 – 6	51 – 150	251 – 900
1	> 15	> 6	> 150	> 900

$$I.P.O = [DBO5 + NH4 + NO2 + PO4] / 4$$

Les classes selon IPO:

- 5,0 < I.P.O < 4,6 ⟹ Pollution organique nulle ;
- 4,5 < I.P.O < 4,0 ⟹ Pollution organique faible ;
- 3,9 < I.P.O < 3,0 ⟹ Pollution organique modérée ;
- 2,9 < I.P.O < 2,0 ⟹ Pollution organique forte ;
- 1,9 < I.P.O < 1,0 ⟹ Pollution organique très forte ;

2.2. Méthode de Lisec-Index par Beckers & Steegmans, 1979 :

Le principe est le même que celui de l'I.P.O mais avec d'autres paramètres en faisant la somme des valeurs de classe et non de leur moyenne. Seulement les classes sont numérotées en sens inverse de celles de l'I.P.O ; ainsi, un indice élevé correspondra à une pollution importante.

Tabl.76:Les normes appliquées pour chaque élément chimique entrant dans le calcul de l'indice de pollution organique suivant les 5 classes selon Lisec-index.

N° Classes	O_2 dis % de saturation	DBO5 (mg O2/L)	NH4 (mg N/L)	P_{total} (µg P/L)
1	91 – 110	3	< 0,5	50
2	71 – 90	3,1 – 6,0	0,5 – 1,0	51 – 249
3	51 – 70	6,1 – 9,0	1,1 – 2,0	250 – 899
4	31 – 50	9,1 – 15,0	2,1 – 5,0	900 – 1499
5	≤ 30	> 15	> 5	≥ 1500

Lisec-Index = Σ des numéros de classe

Les classes selon Lisec-Index :

4 < Lisec-Index < 6 ⟹ Qualité très bonne ⟹ Pollution organique Nulle;
6 < Lisec-Index < 10 ⟹ Bonne qualité ⟹ Pollution organique Faible;
10 < Lisec-Index < 14 ⟹ Qualité moyenne ⟹ Pollution organique modérée;
14 < Lisec-Index < 18 ⟹ Mauvaise qualité ⟹ Pollution organique forte;
18 < Lisec-Index < 20 ⟹ Qualité très mauvaise ⟹ Pollution organique très forte

2.3. Méthode de classification des paramètres par l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (I.H.E)

C'est le même principe que pour l'I.P.O (répartition des valeurs en 5 classes) mais il s'agit d'autres paramètres et d'autres classes (I.H.E, 1985). Ces paramètres ainsi que leur quantité sont représentées dans le tableau n.77 suivant :

Tabl. 77- Les normes appliquées pour chaque élément chimique entrant dans le calcul de L'indice de pollution organique suivant les 5 classes selon l'I.H.E.

N° Classes	Oxygène dis%	DCO (mg O_2/L)	DBO_5 (mg O_2/L)	NH_4 (mg N/L)	PO_4 (µg P/L)	P_{total} (µg P/L)
5	91 – 110	≤ 5,0	≤ 1,0	≤ 0,05	≤50	≤50
4	70 – 89	5,1 – 10,0	1,1 – 3,0	0,06 – 0,50	51 – 100	51 – 100
3	50 – 69	10,1 – 20,0	3,1 – 5,0	0,51 – 1,00	101 – 200	101 – 200
2	30 – 49	20,1 – 50,0	5,1 – 10,0	1,01 – 2,00	201 – 400	201 – 400
1	≤ 30	> 50,0	> 10	> 2,0	> 400	> 400

Les classes selon l'I.H.E:5,0 < I.H.E < 4,6 ⟹ Pollution organique nulle ;
4,5 < I.H.E < 4,0 ⟹ Pollution organique faible ;
3,9 < I.H.E < 3,0 ⟹ Pollution organique modérée ;
2,9 < I.H.E < 2,0 ⟹ Pollution organique forte ;
1,9 < I.H.E < 1,0 ⟹ Pollution organique très forte.

3. Utilisation des 3 méthodes de calcul de la pollution organique :

Pour voir une idée générale sur l'évolution des trois indices et des classes de pollution pour les eaux du barrage de Ain zada durant toute cette période d'étude (1988-2010) obtenues par les différentes méthodes pour chaque mois d'observation, on a pris la moyenne annuelle des analyses chimiques de l'ANRH de chaque année (a partir des prélèvement mensuel la moyenne de 12 mois de chaque année), Le tableau ci-dessus (Tab.78) représente les valeurs calculées de l'indice de la pollution organique suivant les 3 méthodes pour toute les année de la période d'observation.

Afin d'avoir un résultat plus significatif, on a choisi les résultats d'analyses des mois des prélèvements des quatre années bien disperse sur toute la période d'étude (1988-2010) qui sont les suivant (tab.79):

- Les deux années extrême l'année 1988 ou le barrage mis en service et l'année 2010 la dernière année de cette période.
- Les deux années les plus exceptionnelles de cette période d'étude qui sont l'année la plus sèche 2002 et la plus pluvieuse 2003.

Remarque : *Calculées sur 3 paramètres au lieu de 4, les valeurs de l'indice de Lisec- Index sont multipliées par 1,33 pour ramener les valeurs à un maximum de 20.*

Tabl.78 : Valeurs calculées des indices et des classes de pollution pour la période 1988-2010 selon les trois méthodes.

Années de prélèvements	I.P.O		Lisec-index		I.H.E	
	indice	classe	indice	classe	indice	classe
1988	3,5	Modérée	6,65	Faible	3,66	Modérée
1989	3,75	Modérée	6,65	Faible	3,83	Modérée
1990	4,33	Faible	5,32	Nulle	4	Faible
1991	3,75	Modérée	8	Faible	3,5	Modérée
1992	3,25	Modérée	9,31	Faible	2,83	Forte
1993	4	Faible	8	Faible	3,16	Modérée
1994	4	Faible	9,31	Faible	2,83	Forte
1995	3,75	Modérée	8	Faible	3	Modérée
1996	3,75	Modérée	10,64	Modérée	2,83	Forte
1997	4	Faible	8	Faible	3,16	Modérée
1998	3,5	Modérée	9,31	Faible	2,66	Forte
1999	3,5	Modérée	9,31	Faible	2,83	Forte
2000	4	Faible	8	Faible	2,83	Forte
2001	3,75	Modérée	8	Faible	3,16	Modérée
2002	3,66	Modérée	8	Faible	3,16	Modérée
2003	3,25	Modérée	9,31	Faible	3,16	Modérée
2004	3,25	Modérée	8	Faible	3	Modérée
2005	3,5	Modérée	8	Faible	3,16	Modérée
2006	3,5	Modérée	6,65	Faible	3,33	Modérée
2007	3,5	Modérée	8	Faible	3,16	Modérée
2008	3,25	Modérée	8	Faible	3	Modérée
2009	3,25	Modérée	6,65	Faible	3,16	Modérée
2010	3	Modérée	10,64	Modérée	2,83	Forte

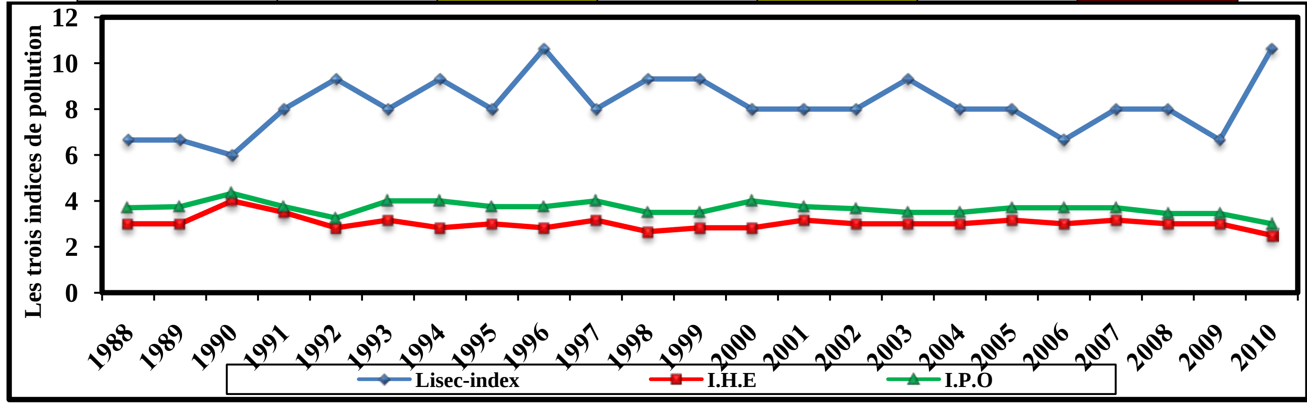


Fig. 153. Représentation graphique des trois indices de pollution des eaux du barrage de Ain zada obtenus par les différentes méthodes pour la période 1988-2010

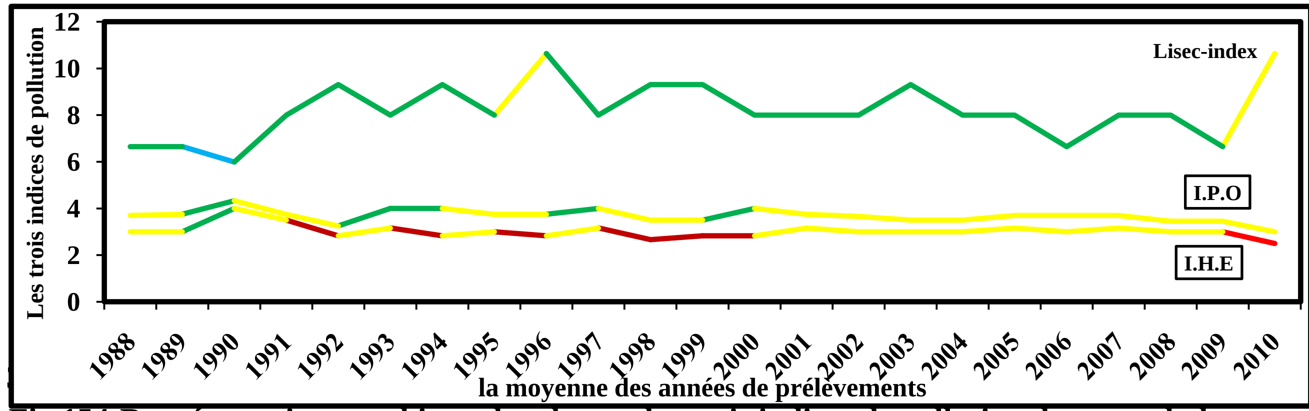


Fig.154-Représentation graphique des classes des trois indices de pollution des eaux du barrage de Ain zada obtenus par les différentes méthodes pour la période 1988-2010

3.1. Discussion des résultats obtenus pour les années de la période d'études :

Pour l'interprétation des résultats des analyses moyennes pour les années de prélèvement des eaux du barrage de Ain zada de 1988 a 2010, on a choisi la méthode qui donne les résultats les plus alarmants qui est celle de l'I.H.E (I.H.E, 1991). Car elle reflète la réalité des taux de pollution en utilisant le plus grand nombre de paramètres indicateurs de pollution tels que : l'oxygène dissous, DCO, DBO_5, NH_4 et PO_4.

D'après les graphes d'évolution de la pollution au cours de toute la période d'observation de ces année depuis 1988 à 2010, la figure (Fig.154) montre une faible pollution enregistrée pendant les premières années de la mise en service du barrage c.-à-d présente une bonne qualité d'eau, jusqu'à 1992 ou il y a une pollution modérée à forte ce qui induit une qualité des eaux du barrage moyenne à mauvaise jusqu'à l'année 2000, où la qualité des eaux devient moyenne cela est due à la réalisation de la station d'épuration de Ain sfiha et sa mise en service en 1996 qui a épuré les eaux usées de la ville de Sétif (20000 m^3/j) ,ce dernier ,diminue la pollution au niveau de oued boussellam et élimine une importante charge polluante qui a été rejetée pendant les années précédentes directement dans les oueds puis à la cuvette du barrage, et la forte pollution marquée de l'année 1996 à 2000 c.-à-d. après le fonctionnement de la STEP est due au temps du retard de l'écoulement de la charge polluante au niveau des oueds pour arriver à la cuvette du barrage d'une distance de plus de 50 km de long.

Mais les graphe d'évolution de la pollution montre que la pollution est devenue forte pour la deuxième fois pendant les dernières années surtout pendant l'année 2010 malgré le fonctionnement de la station d'épuration de Ain Sfiha, cela est due a l'influence des rejets solides et liquides des différentes agglomérations surtout les plus proches à la cuvette du barrage de Ain zada qui sont développés et rejetés actuellement des volume important des déchets solides et liquides directement dans les oueds qui alimentent le barrage telle que les villes de Ain Taghrout et Bir Kasd Ali.

Tabl. 79 - Valeurs calculées des indices et des classes de pollution pour les quatre années 1988, 2002,2003 et 2010 selon les trois méthodes.

Mois	Mois de prélèvements 1988						Mois de prélèvements 2002						Mois de prélèvements 2003						Mois de prélèvements 2010					
	I.P.O		Lisec-index		I.H.E		I.P.O		Lisec-index		I.H.E		I.P.O		Lisec-index		I.H.E		I.P.O		Lisec-index		I.H.E	
	indice	classe	indice	classe	indice	classe	indice	classe	indice	classe	indice	classe	indice	classe	indice	classe	indice	classe	indice	classe	indice	classe	indice	classe
Jan	3,5	Modérée	8	Faible	3,6	Modérée	3,75	Modérée	8	Faible	3	Modérée	3,25	Modérée	10,64	Modérée	2,83	Forte	3	Modérée	9	Faible	2,83	Forte
Fev	4	Faible	6,65	Nulle	3,4	Modérée	4	Faible	8	Faible	2,66	Forte	3,5	Modérée	9,31	Faible	2,83	Forte	2,5	Forte	10,64	Modérée	2,5	Forte
mar	4	Faible	9,32	Faible	3,4	Modérée	3,5	Modérée	8	Faible	3	Modérée	3,5	Modérée	5,32	Nulle	3	Modérée	3	Modérée	12	Modérée	2,66	Forte
Avr	4	Faible	5,32	Nulle	4	Faible	4	Faible	9,31	Faible	2,5	Forte	3,25	Modérée	6,65	Faible	3,83	Modérée	4	Faible	5,32	Nulle	3,83	Modérée
mai	3,5	Modérée	6,65	Faible	3,2	Modérée	4,75	Nulle	5,32	Nulle	3,66	Modérée	2,75	Forte	8	Faible	2,66	Forte	3,25	Modérée	8	Faible	3	Modérée
juin	4	Faible	5,32	Nulle	4	Faible	4	Faible	6,65	Faible	3,16	Modérée	3	Modérée	9,32	Faible	2,66	Forte	3,5	Modérée	6,65	Faible	3,33	Modérée
juil	3,75	Modérée	6,65	Faible	3,6	Modérée	4,25	Faible	6,65	Faible	2,4	Forte	3	Modérée	8	Faible	2,66	Forte	3,5	Modérée	5,32	Nulle	3,33	Modérée
aout	3,5	Modérée	6,65	Faible	3,2	Modérée	4	Faible	8	Faible	2,83	Forte	3,25	Modérée	5,32	Nulle	3,16	Modérée	3	Modérée	9,32	Faible	2,33	Forte
Sept	4,25	Faible	6,65	Faible	3,8	Modérée	4,25	Faible	5,32	Nulle	3,33	Modérée	2,5	Forte	9,32	Faible	2,66	Forte	3,75	Modérée	6,65	Faible	3,33	Modérée
Oct	4,25	Faible	8	Faible	3,4	Modérée	5	Nulle	5,32	Nulle	4,16	Faible	2,75	Forte	9,32	Faible	2	Très Forte	3,5	Modérée	8	Faible	2,5	Forte
Nov	4,25	Faible	8	Faible	4	Faible	4,5	Faible	6,65	Faible	3,33	Modérée	3,75	Modérée	6,65	Faible	4	Faible	3	Modérée	11	Modérée	2,33	Forte
Dec	4	Faible	5,32	Nulle	4,2	Faible	3,75	Modérée	6,65	Faible	3,5	Modérée	3,75	Modérée	8	Faible	3,66	Modérée	3,5	Modérée	8	Faible	3,16	Modérée

Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 1988
Lisec-index — I.P.O — I.H.E
Les trois indices de pollution
Jan Fev mars Avr mai juin juil aout Sept Oct Nov Dec
Mois de prélèvements de l'année 1988

Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 2002
Lisec-index — I.P.O — I.H.E
Les trois indices de pollution
Jan Fev mars Avr mai juin juil aout Sept Oct Nov Dec
Mois de prélèvements de l'année 2002

Fig.155.a - Représentation graphique des trois indices obtenus par les différentes méthodes pour les mois des deux années 1988 et 2002

Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 2003
Lisec-index — I.P.O — I.H.E
Les trois indices de pollution
Jan Fev mars Avr mai juin juil aout Sept Oct Nov Dec
Mois de prélèvements de l'année 2003

Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 2010
Lisec-index — I.P.O — I.H.E
Les trois indices de pollution
Jan Fev mars Avr mai juin juil aout Sept Oct Nov Dec
Mois de prélèvements de l'année 2010

Fig.155.b- Représentation graphique des trois indices obtenus par les différentes méthodes pour les mois des deux années 2003 et 2010

Fig.155 -Représentation graphique de l'évolution temporelle des trois indices de pollution obtenus par les différentes méthodes pour chaque mois d'observation des quatre années suivant 1988,2002,2003 et 2010 d'après l'ANRH.

3.2. Discussion des résultats obtenus pour les mois d'observation des quatre années choisies :

Pour l'interprétation des résultats de ces quatre années de prélèvement des eaux du barrage de Ain zada, la même chose on a choisi la méthode qui donne les résultats les plus alarmants qui est celle de l'I.H.E. Car elle reflète la réalité des taux de pollution en utilisant le plus grand nombre de paramètres indicateurs de pollution tels que : l'oxygène dissous, DCO, DBO_5, NH_4 et PO_4.

Pour les mois d'observation de l'année 1988:

L'année 1988 parmi les premières années de la mise en service du barrage qui est débuté en 1986, Les résultats représentés dans la figure (155.a) démontrent une faible pollution à nulle ce qui donne une qualité des eaux moyenne a bonne durant tous les mois de prélèvement de cette année ,et même ces résultats indiquent que les rejets domestiques ou industriels n'arrivent pas à la cuvette du barrage pendant les premières années de la mise en service du barrage.

L'année 2002, c'est l'année la plus sèche de cette période d'étude ou le volume de l'eau de la cuvette atteint sont minimum, 19 Mm^3 au mois d'octobre 2002, la figure (155.a) montre l'évolution des classes des indices de pollution par les trois méthodes ou la pollution est modérée parfois a forte surtout pendant les mois les plus secs de l'année : Juillet et Aout, cela due à la forte concentration des différents éléments chimiques dans les eaux pour cette période ; traduisant la moyenne a mauvaise qualité des eaux du barrage.

Alors que L'année 2003 c'est l'année la plus pluvieuse de cette période d'étude ou la moyenne annuelle du volume d'eau de la cuvette atteint son maximum ,121Mm^3 durant toute l'année, la figure (155.b) montre l'évolution du classement des indices de pollution par les trois méthodes ou la pollution est modérée a forte pendant les deux périodes de l'année haute eaux (Avril a Juin) et basse eaux (Aout a Octobre) cela est due pour la première au lessivage des différents déchets et des eaux usées stagnantes par l'écoulement des oueds ,Ceci est expliqué par le fait qu'en période sèche précédente (2002) l'eau polluée ne peut se déplacer vers l'exutoire à cause de la concentration de la pollution au niveau de l'endroit du rejet. Elle est constatée au niveau du rejet urbain des villes et des agglomérations ainsi qu'au niveau du rejet de la zone industrielle et des différentes usines (Mauvaise qualité) ressemble pendant la période sèche précédente ,et même au lessivage des terrains agricoles de tous les produits chimiques et de nutriment après la période de la sécheresse ce qui augmente la charge polluante au niveau de la cuvette du barrage.

L'année 2010 D'après les graphes d'évolution de la pollution au cours de toute la période d'observation de cette années, la figure (155.b) montre une forte pollution enregistrée pendant tous les mois de prélèvement de cette année , surtout pendant les mois secs celui de Juin a Novembre (période des basses eaux) cette forte pollution induit une mauvaise qualité de l'eau de la cuvette du barrage, alors pour les autres mois présentent une pollution modérée ce qui traduit une qualité moyenne de l'eau pour le reste des mois d'une manière générale la qualité actuelle des eaux du barrage de Ain zada est moyenne et parfois mauvaise

Pour mieux avoir l'évolution de la pollution des eaux de la cuvette du barrage de Ain zada au cours de toute la période d'observation en détaille, on a représenté les analyses de prélèvement mensuel de toute les années d'observation sur des graphes de l'évolution des classes des indices de pollution par les trois méthodes (Fig.156) qui montrent que l'évolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de la cuvette du barrage de Ain zada durant ces années 1988 a 2010 est celle comme l'interprétation de l'évolution précédente.

Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 1989
Les trois indices de pollution
Lisec-index
I.P.O
I.H.E
Jan Fev mars Avr mai juin juil aout Sept Oct Nov Dec
Mois de prélèvements del'année 1989

Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 1990
Les trois indices de pollution
Lisec-index
I.P.O
I.H.E
Jan Fev mars Avr mai juin juil aout Sept Oct Nov Dec
Mois de prélèvements del'année 1990

Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 1992
Les trois indices de pollution
Lisec-index
I.P.O
I.H.E
Jan Fev mars Avr mai juin juil aout Sept Oct Nov Dec
Mois de prélèvements del'année 1992

Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 1993
Les trois indices de pollution
Lisec-index
I.P.O
I.H.E
Jan Fev mars Avr mai juin juil aout Sept Oct Nov Dec
Mois de prélèvements de l'année 1993

Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 1994
Les trois indices de pollution
Lisec-index
I.P.O
I.H.E
Jan Fev mars Avr mai juin juil aout Sept Oct Nov Dec
Mois de prélèvements de l'année 1994

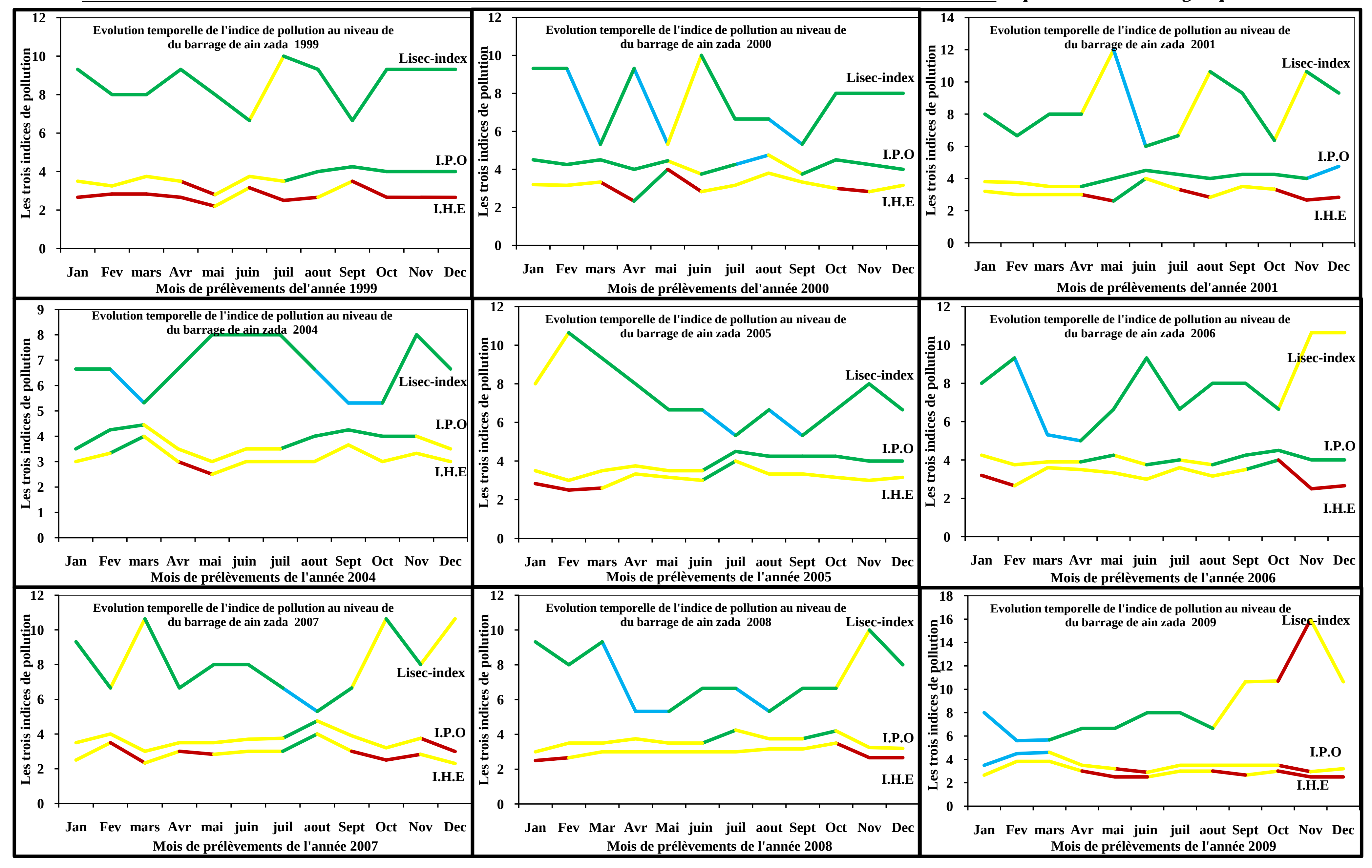
Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 1995
Les trois indices de pollution
Lisec-index
I.P.O
I.H.E
Jan Fev mars Avr mai juin juil aout Sept Oct Nov Dec
Mois de prélèvements del'année 1995

Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 1996
Les trois indices de pollution
Lisec-index
I.P.O
I.H.E
Jan Fev mars Avr mai juin juil aout Sept Oct Nov Dec
Mois de prélèvements del'année 1996

Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 1997
Les trois indices de pollution
Lisec-index
I.P.O
I.H.E
Jan Fev mars Avr mai juin juil aout Sept Oct Nov Dec
Mois de prélèvements del'année 1997

Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 1998
TLes trois indices de pollution
Lisec-index
I.P.O
I.H.E
Jan Fev mars Avr mai juin juil aout Sept Oct Nov Dec
Mois de prélèvements del'année 1998

Fig. 156- Représentation graphique de l'évolution temporelle des trois indices obtenus par les différentes méthodes pour l'eau du barrage de Ain zada pour tous les mois des années d'études (période d'études 1988-2010 d'après l'ANRH).


Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 1999
Lisec-index
I.P.O
I.H.E
Les trois indices de pollution
Jan Fev mars Avr mai juin juil aout Sept Oct Nov Dec
Mois de prélèvements del'année 1999
Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 2000
Mois de prélèvements del'année 2000
Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 2001
Mois de prélèvements del'année 2001
Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 2004
Mois de prélèvements de l'année 2004
Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 2005
Mois de prélèvements de l'année 2005
Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 2006
Mois de prélèvements de l'année 2006
Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 2007
Mois de prélèvements de l'année 2007
Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 2008
Jan Fev Mar Avr Mai juin juil aout Sept Oct Nov Dec
Mois de prélèvements de l'année 2008
Evolution temporelle de l'indice de pollution au niveau de du barrage de ain zada 2009
Mois de prélèvements de l'année 2009

IV. Qualité des eaux pour l'irrigation :

A. Introduction :

La région du périmètre de Ain zada et Ain Taghrout et tout le long de oued Boussellam est une zone à vocation agricole, ce qui lui nécessite une grande quantité d'eau pour l'irrigation des cultures maraîchères et en particulier la pomme de terre, la tomate, céréales, viticultures et arboricultures. Raison pour laquelle la qualité des eaux utilisées dans ce domaine vital de la région doit présenter des paramètres physico-chimiques tolérables par les plantes.

Les eaux chargées en sels minéraux posent des problèmes pédologiques et agronomiques entraînant une perturbation de la croissance des plantes. Parmi ces sels, on peut citer le cas du sodium où les fortes teneurs en cet élément entraînent un changement de la structure physique du sol à cause du gonflement des particules d'argiles, provoquant une circulation plus lente de l'eau dans le sol. Cette détérioration de la qualité du sol va se traduire par une baisse de sa perméabilité, son aération et son rendement.

B. Aptitude des eaux de oued Boussellam et du barrage de Ain zada à l'irrigation :

Il est connu que les sels minéraux contenus dans l'eau ont des effets sur le sol, les plantes et les êtres-humains. Ces sels peuvent perturber le développement physique des plantes par l'absorption de l'eau qui agit sur le processus osmotique, ou chimiquement par les réactions métaboliques telles que celles causées par les constituants toxiques. En plus, (Person J.1978) les sels causent des changements dans la structure du sol, sur sa perméabilité et sur son aération, affectant directement le développement de la plante. Par conséquent, la consommation de cette dernière peut être à l'origine des maladies chroniques.

La salinité peut entraîner des effets nocifs conséquents en raison de la fixation du sodium des sels de chlorures de sodium par les colloïdes du sol. Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation, de façon indirecte en dégradant les propriétés physiques du sol. Sous cette action, les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes (Tood D.K ; 1980) in Djabri, 1993.

Lorsque la concentration des ions Na^{+} à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent dans le complexe absorbant, les cations Ca^{2+} le plus fréquemment. Une eau chargée en sel, peut provoquer cette action. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable, « sodium Absorption Ration » S.A.R. qui s'exprime par la relation suivante :

$$\boldsymbol{S.A.R = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{ca^{++} + mg^{++}}{2}}}}$$

Pour une conductivité donnée, le risque sera d'autant plus important que le S.A.R. sera élevé. On utilisera dans ce qui suit un diagramme de classification en fonction du S.A.R. et de la conductivité électrique de l'eau.

Pour cela on a utilisé des résultats d'un «calcul automatique des activités ioniques dans une solution aqueuse», effectuée à l'aide d'un logiciel d'hydrochimie multilangage établi par Simler au Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon en 2004, Version 2.00. Ces calculs ont donné naissance aux graphes de Riverside et de Wilcox.

1. Classification des eaux de oued Boussellam et du barrage de Ain zada d'après Richards

S.A.R ≤ 10 : ⟹ Eau excellente ;

10 < S.A.R ≤ 18 : ⟹ Eau bonne ;

18 < S.A.R. < 26 : ⟹ Eau convenable ;

S.A.R. > 26 : ⟹ Eau médiocre.

Une classification plus détaillée des eaux destinées à l'irrigation a été établie par M. Louvier, (1976).

Tabl.80: Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R (M. Louvier, 1976- B.R.G.M).

Degré	Qualité	Classe	Possibilité d'utilisation
1	**Excel-lente**	C_1S_1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures.
2	**Bonne**	C_2S_1 C_2S_2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels, sur sols ayant une bonne perméabilité.
3	**Admis-sible**	C_2S_3 C_3S_1 C_3S_2	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes aux sels sur les sols drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4	**Médiocre**	C_3S_3 C_4S_1 C_4S_2	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à certaines espèces bien tolérantes aux sels sur des sols bien drainés et lessivés.
5	**Mauvaise**	C_4S_3 C_4S_4 C_3S_4	Eau ne convenant pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions.

2. Classification de Wilcox :

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur du sodium dans l'eau, généralement connue en pourcentage du sodium, est définie par la relation:

$$Na^+\% = \left[\frac{Na^+}{\left(ca^{++}+mg^{++}+Na^++K^+\right)}\right]*100$$

Avec : Les concentrations du Na, Ca, Mg, Na et K sont en mg/L.

Cette classification définit cinq classes d'eau : Excellente, Bonne, Admissible, Médiocre et Mauvaise (Wilcox, 1948).

S1 risque faible ⟹ S.A.R ≤ 10 : ⟹ Eau excellente ;
S2 risque moyen ⟹ 10 < S.A.R ≤ 18 : ⟹ Eau bonne ;
S3 risque élevé ⟹ 18 < S.A.R. < 26 : ⟹ Eau convenable ;
S4 risque très élevé ⟹ S.A.R. > 26 : ⟹ Eau médiocre.

3. Interprétation des résultats

a. Sur le diagramme de Riverside (fig.157) :

La représentation des analyses moyennes annuel des eaux du barrage de Ain zada sur le diagramme de Riverside montre une concentration de tous les années dans la classe 3-1, cela indique une forte salinité mais à faible danger d'alcalinisation des sols.

b. Sur le diagramme de Wilcox (fig.158) :

La représentation des analyses moyennes annuelles des eaux du barrage de Ain zada sur le diagramme de Wilcox (fig.158) confirme cette interprétation, car on a la même concentration des points dans la classe C3S1. C'est la classe qui renferme les eaux à forte salinité mais à faible danger d'alcalinisation.

On constate que l'eau du barrage de Ain zada durant toute cette période d'étude (1988 a 2010) et de oued Boussellam sont de qualité de bonne à excellente pour l'irrigation, avec un pourcentage de sodium ne dépassant pas les 30 %.

En conclusion, les deux méthodes semblent donner globalement les mêmes résultats, pour cela, la même recommandation et donnée pour cette eau.

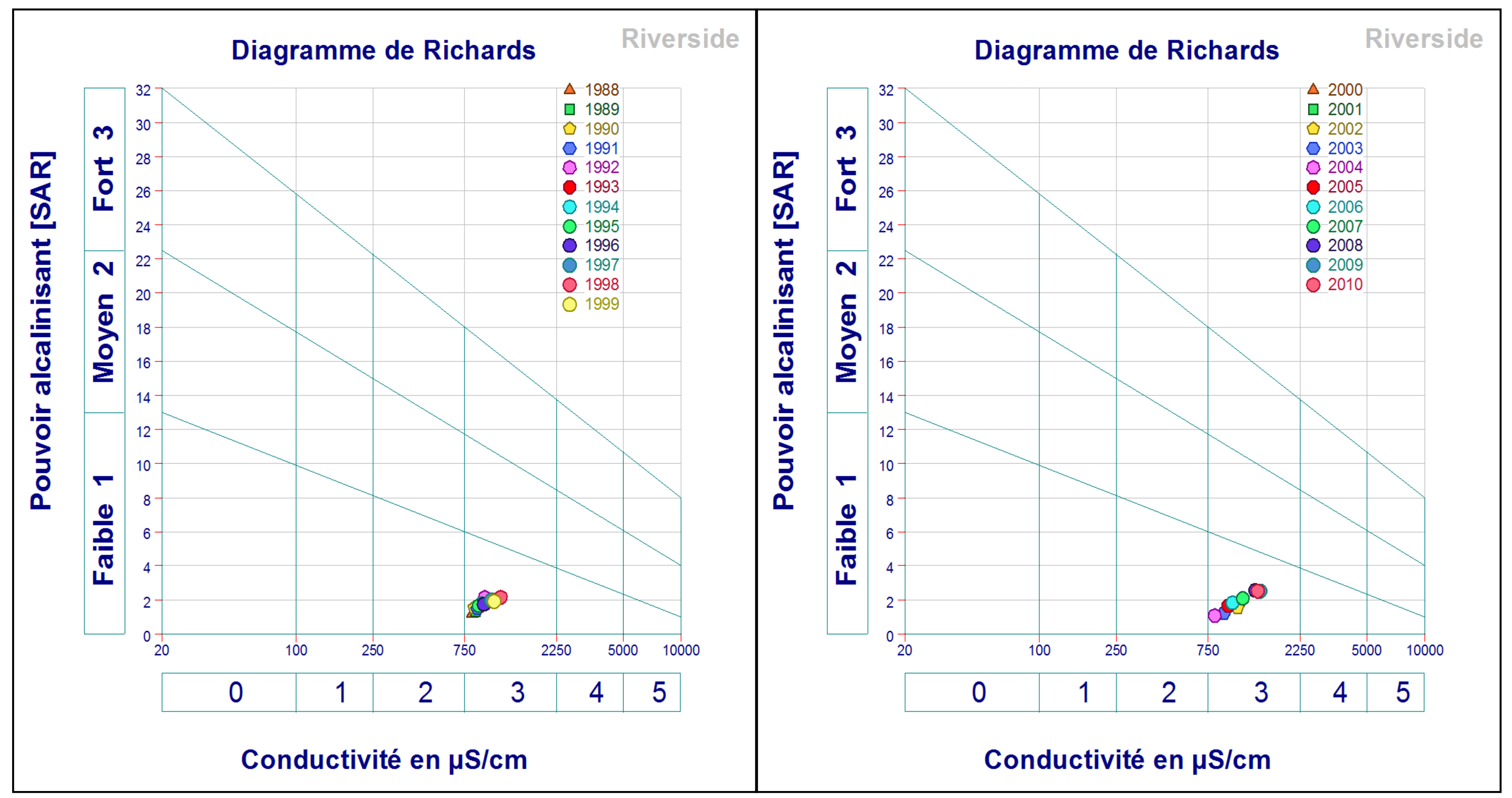


Fig.157- Classification des eaux de oued Boussellam et du barrage de Ain zada a l'irrigation d'après le diagramme de Richards (période 1988-2010)

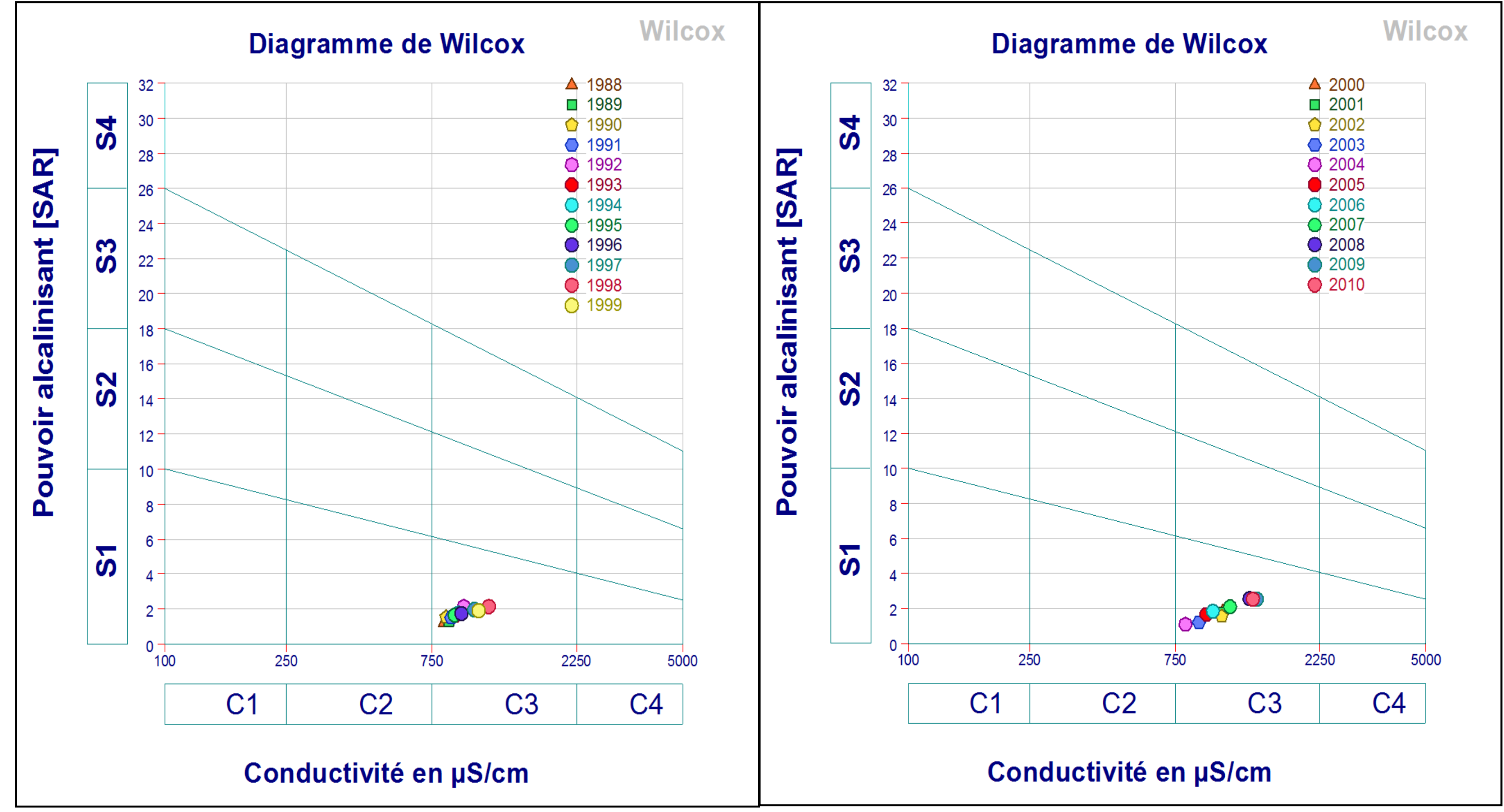


Fig.158- Classification des eaux de oued Boussellam et du barrage de Ain zada a l'irrigation d'après le diagramme de Wilcox (période 1988-2010)

Conclusion:

La qualité des eaux de surface de la cuvette du barrage de Ain zada qui est la synthèse des eaux superficielles de oued Boussellam, dépend de plusieurs paramètres physiques, chimiques et biologiques. Leur variation spatio-temporelle est due soit à la lithologie des terrains traversés (dissolution des formations géologiques), soit à des facteurs externes (déversement anarchique des eaux urbaines épurées dans la majorité sans aucun traitement préalable, le non respect des normes des eaux industrielles déversées et de l'activité agricole suite à l'utilisation intensive des engrais chimiques).

De fortes teneurs en nitrates, nitrites et ammonium polluent les eaux du barrage. Leur provenance est multiple car on les retrouve au niveau des rejets urbains où les terres sont cultivées (activité agricole). En ce qui concerne les rejets urbains, ils proviennent des eaux ménagères (graisses, solvants, débris organiques, détergents, matières organiques azotées et de germes fécaux). Quant à la pollution agricole, les nitrates, nitrites et ammonium sont dus à l'utilisation intensive des engrais

Les fortes teneurs en sodium, calcium, chlorure et sulfate sont dues, généralement, à la dissolution des formations gypseuses et salifères et triasiques dans la zone d'étude surtout le gisement de Guellal Cette dernière augmente la salinité des eaux au niveau de ces endroits. Cette augmentation est traduite par une forte conductivité surtout les dernières années.

Les valeurs moyennes d'oxygène dissous restent dans la limite du pouvoir autoépurateur du cours d'eau. La DCO est plus importante que la DBO_5, car l'oxygène extrait à partir des réactions chimique dans l'eau est plus important que celui qu'on trouve dans le milieu aquatique, et même due aussi au rejet industriel important.

On constate aussi la présence de quelques métaux lourds tels que le plomb, le manganèse, le Fer et le cuivre sont due au rejet industriel des différentes unités de la zone industrielles de Sétif. Et même par l'existence de l'ancienne mine de fer et de Zinc de djebel Zdimm. Le fer est parvenu dans les eaux de l'oued par ruissellement suite au lessivage de ces zones sous l'effet de la pluie. Il est attaqué par l'eau et transformé en Fe^{2+} qui est très facilement oxydé en $Fe(OH)_3$ par l'oxygène de l'air.

Le faciès chimiques des eaux du barrage de Ain zada est Chloruré sodique et potassique pour l'ensemble des années de la période d'étude sauf les années 1995 et 2004 ou le facies devient respectivement Sulfaté-Sodique et Sulfaté-Calcique, et aux deux années 2002 et 2003 est de type Chloruré -Magnésien.

L'application des trois méthodes de calculs permettant l'estimation du taux de pollution organique a montré que l'indice le plus explicite est celui de l'I.H.E. Cette méthode démontre que la pollution est assez importante au sein des eaux de la cuvette du barrage de Ain zada , on constate que tous les mois de prélèvements durant cette période d'étude (1988-2010) sont modérés à forte pollution (couleur jaune orange), ce qui traduit la moyenne a mauvaise qualité de ces eaux sauf les premières années de la mise en service du barrage 1986 a 1991 ou les eaux de ce barrage présente une bonne qualité.

Pour l'irrigation, la représentation des analyses des eaux de la cuvette du barrage de Ain zada qui est la synthèse des eaux de oued Boussellam pendant cette période d'étude sur le diagramme de Wilcox sont regroupées dans la classe C3S1, se sont des eaux à forte salinité mais à faible danger d'alcalinisation, l'eau de la région d'étude ne présente aucun risque sur les cultures, elle est de bonne qualité.

Conclusion générale et Recommandations.

Conclusion générale.

La présente étude s'est effectuée sur le bassin versant de Boussellam amont s'étend sur les hauts-plateaux sétifiens au nord-est algérien, avec une superficie de 1785km^2 et une longueur de 65 Km, il est situé entre le grand bassin Constantinois à l'Est, celui de Hodna au Sud, et le sous bassin de Boussellam moyen à l'Ouest, ce bassin est contrôlé par le barrage de Ain zada qui est l'objectif de notre étude située à cheval sur les Wilayas de Sétif à 25 km d'Ouest et à 35 km de l'Est de Bordj Bou-Arreridj, mais dépend administrativement de la Wilaya de Bordj Bou-Arreridj. Il est implanté dans la commune de Ain-Taghrout sur l'Oued Boussellam (direction Sud-Nord) au niveau de la jonction avec l'Oued Ain-Taghrout à l'ouest, l'Oued Kharoua au Nord-Est et l'Oued Malah au Sud-Est

Géomorphologiquement, le bassin versant de Boussellam amont est d'une forme allongée caractérisée par: une altitude moyenne de 1000 m, elle donne l'aspect d'une morphométrie assez forte au sous bassin et un chevelu hydrographique dense de l'ordre de 3,03 ce qui entraîne un ruissellement un peu rapide des eaux, le bassin est caractérisé aussi par un relief fort (250 m < Ds =365 m < 500 m selon la classification de ***l'O.R.S.T.O.M***).

Pour le système géologique, la région est caractérisée par une structure très complexe .Au Nord, on a les formations carbonatées du Cénomanien, les marno-calcaires du Maestrichtien et les calcaires à silex de l'Yprésien .L'ensemble constitue les nappes de flyshes kabyles et les nappes telliennes et la nappe de Djemila. Au centre on a les alluvions et les argiles sableuses, les argiles et les calcaires lacustres du Moi-Plio-Quaternaire et les formations gypseuses et salifère et les diapirs triasiques de guellal. Au Sud, on a les formations carbonatées de l'ensemble allochtone Sud Sétifien et quelques formations de l'ensemble para-autochtone et autochtone Hodnéen. Ces formations facilement altérées par les eaux sont à l'origine du chimisme des eaux de oued Boussellam et les eau du barrage de Ain zada.

Du point de vue climatique, la région des hauts plateaux est soumise à un climat semi-aride caractérisé par deux saisons, la première humide allons du mois de novembre au mois de Avril et une seconde sèche allant du mois de Mai au mois d'octobre, influencé par les courants humides de la méditerranée en hiver et chauds du Sahara en été.

Les hauteurs moyennes interannuelles des précipitations varient d'une station à l'autre, elles sont plus importantes dans les stations ayant une altitude importante, elles décroissent du Nord vers le Sud et de l'Est vers l'Ouest elle varie entre 237 mm/an a tixter et 416 mm/an a l'Eulma.

Les températures moyennes interannuelles diffèrent légèrement entre le centre de la zone d'étude et ses limites Nord et Sud, elles diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre, et du Sud vers le Nord du bassin elle varie entre 14.6°C a Sétif a 15.45 °C Ain zada.

L'estimation des paramètres constituants le bilan hydrologique, a permis de faire ressortir les résultats suivants d'après la formule de Thornthwaite: Une R.F.U(réserve facilement utilisable) de 50 mm).

- Une évapotranspiration potentielle (ETP):
  - pour la station de Sétif, de 818 mm/an ;
  - pour la station de Ain zada, de 840 mm/an.
  - pour la station d'el-eulma, de 839 mm/an ;
  - pour la station de tixter, de 842 mm/an.

Une évapotranspiration réelle (ETR):

- pour la station de Sétif, de 343 mm/an soit 85%;
- pour la station de Ain zada, de 339 mm/an soit 94%.
- pour la station d'el-eulma, de 344 mm/an soit 82%;
- pour la station de tixter, de 237 mm/an soit 99% .

Un ruissellement :

- pour la station de Sétif, de 32 mm/an soit 8%;
- pour la station de Ain zada, de 21 mm/an soit 5%.
- pour la station d'el-eulma, de 34 mm/an soit 8%;
- pour la station de tixter, de 6 mm/an soit 2%.

Un taux d'infiltration de :

- pour la station de Sétif, de 25 mm/an soit 6%.
- pour la station de Ain zada, de 1 mm/an soit 1%.
- pour la station d'el-eulma, de 37 mm/an soit 9% .
- pour la station de tixter, de nul.

Le barrage de Ain Zada est situé dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj à 25 km à l'ouest de Sétif et à 40 km à l'est de B.B.Arreridj, c'est un barrage en remblai de type en enrochement avec un noyau central en argile, de 55 m de hauteur permettra d'emmagasiner un volume d'eau de125Mm³ avec une capacité utile de 110 Mm^3, régularisant ainsi un volume 44 Mm³/an ce qui conforme avec les paramètres obtenus a partir des bilans hydrologiques, mais la capacité actuelle après l'étude bathymétrique qui a été effectuée en Avril 2004 est de 121,400 Mm³ c-a-d sa capacité a été réduite de 3,60 Mm^3,Soit une valeur moyenne annuelle de perte en capacité de l'année 1985 jusqu'à 2004 de l'ordre de 189400 m^3/an.

Ce barrage permet d'assurer les besoins en eau potable et industrielles des populations des chefs lieux des deux wilayas des hauts plateaux Sétif et Bordj Bou-Arreridj et ces environs tel que El-Eulma, Bougaa, Ain arnet et d'autre commune.

Le barrage de Ain zada est caractérisé par une grande surface (PHE) de 1920 hectares (cote maximale) et faible profondeur de 26 d'eau, donc se qui favorise les pertes d'eau par évaporation avec une moyenne annuelle enregistrée pendant cette période d'étude de l'ordre de 11.44Mm^3

La qualité des eaux de surface de la cuvette du barrage de Ain zada qui est la synthèse des eaux superficielles de oued Boussellam, dépend de plusieurs paramètres physiques, chimiques et biologiques. Leur variation spatio-temporelle est due soit à la lithologie des terrains traversés (dissolution des formations géologiques), soit à des facteurs externes (déversement anarchique des eaux urbaines épurées dans la majorité sans aucun traitement préalable, le non respect des normes des eaux industrielles déversées et de l'activité agricole suite à l'utilisation intensive des engrais chimiques).

De fortes teneurs en nitrates, nitrites et ammonium polluent les eaux du barrage. Leur provenance est multiple car on les retrouve au niveau des rejets urbains où les terres sont cultivées (activité agricole). En ce qui concerne les rejets urbains, ils proviennent des eaux ménagères (graisses, solvants, débris organiques, détergents, matières organiques azotées et de germes fécaux). Quant à la pollution agricole, les nitrates, nitrites et ammonium sont dus à l'utilisation intensive des engrais

Les fortes teneurs en sodium, calcium, chlorure et sulfate sont dues, généralement, à la dissolution des formations gypseuses et salifères et triasiques dans la zone d'étude surtout le gisement de Guellal

Cette dernière augmente la salinité des eaux au niveau de ces endroits et même des eaux du barrage. Cette augmentation est traduite par une forte conductivité surtout les dernières années.

Les valeurs moyennes d'oxygène dissous restent dans la limite du pouvoir autoépurateur du cours d'eau. La DCO est plus importante que la DBO_5, car l'oxygène extrait à partir des réactions chimique dans l'eau est plus important que celui présent dans le milieu aquatique, et même due aussi au rejet industriel important.

On constate aussi la présence de quelques métaux lourds tels que le plomb, le manganèse, le Fer et le cuivre sont due au rejet industriel des différentes unités de la zone industrielles de Sétif. Et même par l'existence de l'ancienne mine de fer et de Zinc de djebel Zdimm. Le fer est parvenu dans les eaux de l'oued par ruissellement suite au lessivage de ces zones sous l'effet de la pluie. Il est attaqué par l'eau et transformé en Fe^{2+} qui est très facilement oxydé en $Fe(OH)_3$ par l'oxygène de l'air.

Le faciès chimiques des eaux du barrage de Ain zada est Chloruré sodique et potassique pour l'ensemble des années de la période d'étude sauf les années 1995 et 2004 ou le facies devient respectivement Sulfaté-Sodique et Sulfaté-Calcique, et aux deux années 2002 et 2003 est de type Chloruré-Magnésien.

L'analyse en composantes principales des eaux du barrage de Ain Zada nous a permis d'illustrer un ensemble chimique dominant, c'est le faciès des eaux chloruré calcique qui a pour origine la contamination par le lessivage des formations évaporitiques (gisement gypseux).

L'étude de l'origine des éléments chimiques et des rapports caractéristiques montrent que les ions du calcium a deux origines principal : l'une due à la dissolution des formations carbonatées et l'autre évaporitique (les formations gypseuses) ; dont la première (carbonatées) est plus importante que celle des évaporites. L'évolution de la dissolution des ions évaporitiques (Na^+ marqueur de l'halite et SO_4^{2-} marqueur du gypse), indiquant une dominance des ions salifères par rapport à ceux des gypses.

L'application des trois méthodes de calculs permettent l'estimation du taux de pollution organique, elle a montré que l'indice le plus explicite est celui de l'I.H.E. Cette méthode démontre que la pollution est assez importante au sein des eaux de la cuvette du barrage de Ain zada , on constate que tous les mois de prélèvements durant cette période d'étude(1988-2010) sont modérés à forte pollution (couleur jaune orange), ce qui traduit la moyenne a mauvaise qualité de ces eaux sauf les premières années de la mise en service du barrage 1986 a 1991 ou les eaux de ce barrage présente une bonne qualité .

Pour l'irrigation, la représentation des analyses des eaux de la cuvette du barrage de Ain zada qui est la synthèse des eaux de oued Boussellam pendant cette période d'étude sur le diagramme de Wilcox sont regroupées toutes dans la classe C3S1, se sont des eaux à forte salinité mais à faible danger d'alcalinisation, l'eau de la région d'étude ne présente aucun risque sur les cultures, elle est de bonne qualité.

Par conséquent, cette étude devra, éventuellement, être suivie par d'autres études complémentaires, surtout sur la qualité des eaux de oued boussellam qui est le principal affluant du barrage et même sur la cuvette du barrage lui-même, qui seront financées par l'administration, pour protéger la population de la toxicité du tous les métaux et préserver l'eau de ain zada de toute sortes de pollutions.

Recommandations.

Cette étude nous a amenée à proposer des recommandations à fin de mieux sauvegarder l'écosystème en protégeant l'aspect quantitatif et qualitatif des ressources en eau du bassin.

- ✓ Il faut en premier lieu lancer et élargir les travaux de recherches dans toutes les disciplines, que ce soit : géologique, géophysique, hydrogéologique, hydrologique ou hydrochimique. Cela afin d'établir ou de mettre a jours des résultats anciens comme par exemple : actualiser l'étude géologique avec la carte détaillée établie par J.M.VILLA en 1979, l'étude géophysique de l'ENAGEO 1972.
- ✓ Réaliser un traitement préalable des rejets (urbains et industriels) avant qu'ils atteignent les oueds qui alimentent le barrage surtout la commune de ain taghrout, et surveiller en permanence la qualité des eaux au niveau de ces oueds par des suivis mensuels de la qualité chimique des eaux afin d'éviter tout type de pollution naturelle ou accidentelle.
- ✓ Concernant l'agriculture, il est conseillé de limiter l'utilisation intensive des engrais chimiques dans les sols à forte perméabilité, afin de limiter l'infiltration des éléments chimiques vers la nappe et même vers les eaux superficielles.
- ✓ Protéger contre la pollution en établissant des réseaux d'assainissement des eaux usées domestiques et même celles des rejets industriels ;
- ✓ Effectuer plus de prélèvements réguliers et représentatifs pour le contrôle de la qualité des eaux des différentes oueds qui alimentent le barrage et de toucher par ces analyses tous les paramètres possibles.
- ✓ Traitement des eaux usées (d'origine industrielle) au niveau de ces usines et unités de la zone industrielles de Sétif avant de les rejeter dans les oueds.
- ✓ Pour la bonne gestion des eaux du barrage de Ain zada et la prise en charge complète du problème de la pollution à ce niveau, on doit éviter tout conflit administratif entre la Wilaya de Sétif et la Wilaya de Bordj Bou-Arreridj, concernant les différents problèmes liés aux rejets des eaux résiduaires.
- ✓ Un strict respect de l'application des règlements ayant trait aux rejets des affluants liquides, industriels et thermales, est nécessaire ;
- ✓ La protection du bassin versant contre tout type de pollution peut contribuer à la réduction des dépenses pour le traitement spécifique à l'aval du barrage et de facto préserver la santé publique qui reste l'objectif primordial.
- ✓ L'installation d'un **périmètre de sécurité** en amont du barrage qui organise toutes les activités et qui interdit(exclu)toute les activités agricoles et industrielles les plus proches à la cuvette du barrage (station carburant, poulaille, moteurs et engins d'irrigation….) au bout de 8km autour du barrage conformément au directives.

- ✓ L'installation des stations d'épurations artificielles ou naturelles en amont du barrage s'avère indispensable, et ce, afin d'éviter sinon limiter toute pollution d'origine thermale, urbaine ou industrielle, pour cela il faut :

• Equiper obligatoirement le centre thermal de Hammam Ouled yelles d'une station d'épuration ;

• Equiper obligatoirement toute les agglomérations par des stations d'épuration surtouts les plus proche du barrage;

• Doter les stations d'épuration à boue active d'équipements appropriés pour les zones urbaines;

• L'installation obligatoire d'une station d'épuration de l'industrie agroalimentaire de l'unité de Lahmar cherif (IRIAD-SETIF).

- ✓ Pour bien préserver la santé des populations riveraines, il est fortement déconseillé de consommer les poissons se trouvant dans ce barrage vu que ;

• la région présente des anomalies métallo géniques en éléments toxiques

• L'effet cumulatif de cet élément dans les corps des êtres vivants et en particulier les écailles des poissons.

Enfin, pour une meilleure gestion de la ressource du point de vue quantitatif et qualitatif, l'information et la sensibilisation des utilisateurs et des gestionnaires de l'eau sont indispensables pour l'économiser et la protéger.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

*** A. B. H , (2001)** : Les cahiers de l'agence des bassins hydrographiques «A.B.H» ; « Le bassin versant de Boussellam 15-06 », N° 6. 24p.

*** A.N.B.T & D.H.W de Sétif**, (**2010**) : Données sur le barrage d'Ain Zada, Wilaya de Bordj Bou-Arreridj (Monographies de l'aménagement octobre1986, 69 p)

*** BELHADJ M. Z :2006** - Etude de la pollution du barrage de Zit-Emba commune de bekkouche lakhdar Wilaya de Skikda ,Mémoire de Magister Université El Hadj Lakhdar– Batna, Algérie . p91

*** BOUDOUKHA .A (1998):** hydrogéologie des hautes plaines Sétifiennes &Qualité chimique des eaux souterraines, Thèse de doctorat d'état, Université Badji Mokhtar Annaba 230p.

*** BOUDOUKHA .A et al (1993) :** Proposition de normes de potabilité des eaux domestiques pour l'Algérie du Nord

*** BOUGUERNE .A : 2001 –** Etude comparative par analyse hydrologique et hydrochimique des eaux de surface des bassins versants de oued Boussalem et Oued Rhumel mémoire magister- Dep hydraulique- université de Batna 148 Pages

*** BOULGUERAGUER.Z 2009 -** Gestion intégrée des ressources en eau du sous bassin versant amont de l'oued Boussellam (Sétif ;Nord-est algérien) essai d'une nouvelle approche et synthèse de données p137

*** Boukhnouna. S, 2008 -**"impact de l'oued Bounamoussa sur la qualité des eaux de la nappe alluviale superficielle d'El Asfour (wilaya d'El Tarf)", mémoire de magister, Université de Annaba, 145 p.

*** CHABBI ABDALLAH-2008-** Caractérisation Géophysique Des Intrusions Salifères De GUALLEL Sétif Nord Est Algérien , mémoire de magister, IST, Université d'Annaba,106p

*** DEBIECHE.T.H (2002)** : Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle, Thèse Doctorat Université Franche Compte 199 p.

*** DJABRI .L. : 1996 –** Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la seybouse. Origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Thèse doctorat es- sciences université. Annaba 261Pages

*** Khemmoudj.K** (**2009**) Dynamique des systèmes et stratigie d'amenagement et gestion de la ressource en eau en zone semi aride cas de la region d'El-eulma wilaya de Sétif thèse doctorat es-sciences univ. Annaba 221p

*** GUASMI . I . : 2004 –** Dégradation de la qualité de la qualité de l'eau dans le bassin versant de

l'Oued Medjerda – Souk-Ahras.mémoire magister. univ. Batna 89 Pages

*** GUASMI I. : 2009** Pollution des eaux et pouvoir auto-épurateur de l'oued medjerda (Nord –Est Algerien) p205

***MIHOUBI.N 2009-** Fonctionnement et gestion hydrogelogique et hydrologique des ressources en eau du bassin de hammam Grouz 215p

***KHADRI. S, 2009** Qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie aval : Impacts des néofacteurs de pollution.

***MEBARKI. A**, 2005, Hydrologie des bassins de l'Est algérien: Ressources en eau, aménagement et environnement, Thèse de doctorat d'Etat, Université Mentouri de Constantine, Faculté des sciences de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire, Département de l'aménagement du territoire, 360 p.

***MECIBAH .I 2008** Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant d'Oued Guebli (Nord-Est Algérien) ; mémoire de magister, IST, Université d'Annaba,

***REMITA .A.R 2008** Remobilisation des métaux dans les eaux de l'Oued Boudjamâa et ses affluents ; mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 89p.

***I. B. I (International Bechtel Incorporated) 1979-** Rapport d'etude Barrage de ain zada Wilaya de Bordj Bou-Arreridj 56 p

***VILLA . J. M, 1979 -** Carte géologique de Sétif au 1/200 000ème, avec notice explicative, Service de la carte géologique d'Algérie.

***VILLA . J. M , 1979 -** Carte géologique de Constantine au 1/200 000ème, avec notice explicative, Service de la carte géologique d'Algérie.

***WILDI. W, 1983**, Carte des unités géologiques de l'Est algérien au 200 000ème.

ANNEXES

الأربعاء 21 جويلية 2010 الموافق لـ:09 شعبان 1413هـ **عن جريدة النهار الجزائرية صفحة 10.**

المختصون يطالبون بلجنة تحقيق من وزارتي الموارد المائية و الصحة

مبيدات كيميائية مسببة للسرطان بسد"عين زادة "

يعتبر سد عين زادة الممول الرئيسي لسكان ولايتي سطيف و برج بوعريريج بالماء الصالح للشرب ، غير أنه حسب المواطنين يمثل نقمة عليهم ، و ذلك راجع إلى التزايد الرهيب للمصابين بمرض داء السرطان .

سمير منصوري

بحيث يتواجد بولاية سطيف أكثر من 6000 مصاب بهذا الداء الخبيث و هذا راجع حسب **نتائج الكشوفات التي أثبتت أن مياه سد عين زادة هي السبب الرئيسي في إنتشار هذا المرض** ، و حسب مصدر يعمل في السلك الطبي مختص في أمراض السرطان في تصريح لـ"النهار" أكد أن مياه عين زادة هي السبب الرئيسي لظهور حالات السرطان **لوجود عدة مواد سامة مسببة للسرطان داخل أعماق السد** ، مضيفا في هذا السياق ذاته ، أن أي شخص يشرب من مياه "عين زادة"، يكون عرضة للإصابة و التعرض بشتى أنواع السرطان التي لها علاقة بالظاهرة ، مضيفا أنه زار سد عين زادة و اطلع على التخلف الفادح في مجال قواعد النظافة ، مؤكدا أن الأوساخ هي أول شيء تراه فوق مياه السد ، مما يجعلها **مصحوبة بمبيدات كيميائية مسببة للسرطان على المدى الطويل** ، كما لاحظ **بقع سوداء و بنية على الأسماك التي تم اصطيادها** من طرف أحد شباب المنطقة ، مما يجعلها هي الأخرى **مسببة لتسممات غذائية مصحوبة بالسرطان** ، بحكم أن طهيها عادة ما يكون في مقالي لا تتعدى حرارة زيتها 170 درجة.

و أكد ذات المتحدث أن فرق التفتيش و المراقبة التابعة لوزارة الموارد المائية عادة ما تغفل عن مراقبة مياه السدود ، لإهتمامها بالمضخات و شبكة التوزيع ، مما يتسبب في كوارث صحية كما حصل بولاية سطيف ، و إقترح ذات المتحدث على سكان ولاية سطيف أنه قبل شرب المياه يجب أن يتم غليها ، و من جهة ثانية قال أحد الأطباء الذي تعهد بكشف العديد من الأدلة التي تثبت أن ماء عين زادة مسبب للسرطان ، و أن المواد **الكمياوية السامة التي تحتويها مياه السد ، يمكن أن تقتل العديد من الأشخاص في يوم واحد** ، مؤكدا أنه تحدث مع العديد من مرضى السرطان بولاية سطيف ، و أكدوا له أنه منذ أن تم توصيل شبكة المياه من "سد عين زادة" بمنازلهم و حالاتهم الصحية تدهورت .و دعا في هذا السياق وزير الصحة الجديد جمال ولد عباس و وزير الموارد المائية عبد المالك سلال ، إلى إيفاد لجنة تحقيق إلى "سد عين زادة" للوقوف على هذه المشكلة التي يمكن على المدى القريب أن تحدث ما لم يكن في الحسبان . للإشارة فإن وزارة الصحة أوفدت في وقت سابق لجانا للتحقيق في هذه القضية ، و البحث عن الأسباب التي جعلت ولاية سطيف تحتل الصدارة من حيث عدد المرضى ، لكن نتائج التحقيق تبقى مجهولة لحد الآن.

عن جريدة "الشروق" بتاريخ :23 سبتمبر2009

*** سطيف : المصالح البيطرية ترجح أنها تعرضت لتسمم كيميائي**

موت غريب لأزيد من 1000 سمكة شبوط بعين أرنات.

م.أمين.

شهدت بلدية عين أرنات نهاية أسبوع غير عادية بعد حادثة الموت الجماعي لأسراب السمك بالحاجز المائي بمنطقة عين موصنيبات الواقعة على بعد 4 كلم من مركز المدينة ، و هو الحاجز الذي شهد زيارة وزير الصيد البحري نظرا لأهميته و قدرة إنتاجه العالية من سمك الشبوط إذ تصل طاقة إستيعابه إلى أزيد من 400 ألف متر مكعب و إنتاج آلاف الأطنان من الأسماك كل سنة ، لكن ما وقع صبيحة الخميس الماضي مثيرا للإنتباه نظرا لخطورته على البيئة و الصحة العمومية أيضا.

الشروق اليومي تنقلت إلى عين المكان فور إبلاغها بالحادث و وقفت على حجم الكارثة الطبيعية التي لم تشهدها المنطقة من قبل فأسراب الحيتان الميتة شكلت مشهدا رهيبا زعزع مشاعر كل من كان حاضرا بالمكان الذي حفته الروائح الكريهة المنبعثة من الحيتان الميتة التي إنتشرت على طول الخط الفاصل بين الماء و اليابس أين تم إحصاء أزيد من 1000 سمكة شبوط من نوعين رئيسيين هما الشبوط ذو الفم الكبير و الشبوط الفضي و التي يعود تاريخ زرعها إلى سنة 2006 مستورد من دولة المجر، باستعمال وسائل الطيران الثقيلة التابعة للجيش الوطني الشعبي أين تم إنزال أزيد من 10 آلاف سمكة شبوط إضافة إلى أنواع أخرى من أسماك المياه العذبة ، و التي باتت مفخرة لسكان المنطقة و البلدية بشكل عام قبل أن تتعرض للتلف الذي حير الجميع.

و في محاولتنا لمعرفة أسباب الحادثة تقربنا إلى الطبيب البيطري التابع لمصالح الصيد البحري الذي كان حاضرا بموقع الحادث أين أخبرنا بأنه رجح قبل وصوله إلى المكان أن هذا الموت المفاجيء راجع إلى إختناق الحوت نظرا لنقص في كميات الأوكسيجين الذي عادة ما يحدث عند تقلص كميات مياه الحاجز ، لكن سرعان ما تراجع في فرضيته لدى وصوله إلى الحاجز الذي كان ممتلئا عن آخره بالمياه لتبقى فرضية التسمم هي الأكثر بروزا إلى غاية ما ستسفر عنه التحاليل الطبية للعينات التي تم إيفادها على جناح السرعة إلى مخابر وزارة الصحة بالعاصمة ، و للإشارة فإن هذا الحاجز قد عرف نفس الظاهرة قبل سنة لكن لم يتعدى عددها المائة سمكة و حينها كشفت التحاليل بأن نقص الأكسجين كان وراء موتها ، و هو الأمر الذي يتطلب ضرورة فتح تحقيق معمق لكشف ملابسات

الحادثة الذي باتت تهدد بإنقراض أصناف السمك التي لا تزال على قيد الحياة داخل الحاجز المائي و التي تقدر بعشرات الآلاف . و نحن في حديث مع أحد سكان منطقة موصنيبات أفادنا هذا الأخير بأن هذا الحاجز المائي يعتبر شريان حياتهم إذ يسمح بري أزيد من 30 هكتار في منطقة زراعية من الدرجة الأولى ، ناهيك عن صيد الأسماك و غيرها من النشاطات التي يسمح بها هذا الحاجز المائي ، و يضيف نفس المتحدث أن كل الأمور كانت عادية إلى غاية أن حلت موجة الأمطار الغزيرة التي تسببت في العديد من الفياضانات التي أعادت الحياة لمختلف مجاري المياه و التي يروج أنها سبب التسمم ، و في صبيحة الخميس لاحظ سكان عين موصنيبات حركة غير عادية في حواف الحاجز للأسماك التي كانت تحاول الخروج منه لتلى حتفها حينها و ظلت أسراب الحوت تخرج الواحدة تلوى الأخرى إلى غاية أن تحول شاطيء الحاجز إلى مقبرة على الهواء الطلق للحيتان ، و يعود سبب موتها حسبه إلى كميات المياه الملوثة من الفضلات البشرية القادمة من مختلف التجمعات السكانية المجاورة له و التي تصب مباشرة في مجرى مياه الوادي الممون للحاجز و التي جرفتها معها كميات الأمطار التي تهاطلت على المنطقة خلال الأسابيع الماضية و هو ما أدى إلى تسمم مياه الحاجز و منه قتل الحوت ، غير أن السبب الحقيقي لموت هذه الحيتان سيتحدد من خلال التحاليل المخبرية التي ستكشف نوع المادة التي كانت وراء هذه المجزرة و خطورتها على الصحة العمومية أيضا بإعتبار الحاجز شريان سقي للأراضي الزراعية و القضية للمتابعة.

عن جريدة "النهار" بتاريخ : 26 ديسمبر 2010

نفوق كميات كبيرة من الأسماك في "وادي بوسلام " بحمام قرقور بسطيف.

لليوم الثالث على التوالي و بشكل مفاجيء تعرضت أسماك "وادي بوسلام" ببلدية حمام قرقور الواقعة شمال ولاية سطيف، لنفوق كبير وخاصة في منطقة إختلاط مياه مركب خيط الخياطة "ميديفيل" بمياه الوادي، و قد تراكمت الاسماك النافقة على حافة الوادي ، مما تسبب في إنبعاث روائح كريهة قد تؤدي لتلوث مياه "وادي بوسلام"، و لم تتمكن "النهار "من الوصول لها لإلتقاط الصور، بسبب الأوحال التي تحيط بحافة الوادي نتيجة الأمطار و الثلوج التي تهاطلت على المنطقة في الأونة الأخيرة .و في هذا السياق ، علمت "النهار " من مصادر مطلعة ، أن لجنة تحقيق حلت إلى المنطقة نهاية الأسبوع المنصرم، لكن لحد الساعة لم تتوصل إلى السبب المباشر الذي أدى إلى هذه الكارثة ، في حين علمنا ، أنه تم إرسال عينات من الأسماك للمختبرات المختصة للوقوف على أسباب النفوق. للإشارة أن هذه الحادثة تعد الثانية من نوعها ، بعد أن شهد"وادي بوسلام" و على مستوى مركز "وادي السبت" في فصل الربيع الماضي ، نفوق عدد هائل من الأسماك، و كانت نتيجة مياه غير عادية و غير معالجة من مؤسسة خيط الخياطة "ميديفيل"مخلوطة بالزيوت و المواد الكيماوية و غيرها من بقايا المواد السامة

سمير منصوري

Annexe.2 Tableau.01:Précipitations mensuelles durant la période 1981-2010 dans la station de Sétif.

Année	Janvier	Fevrier	Mars	Avril	Mai	Juin	Juille	Aout	Sept	Octob	Nove	Décem	Total	Moy

1981	16,30	17,50	28,90	20,70	12,70	40,50	0,60	38,10	48,20	23,20	5,10	51,90	**303,70**	25,30
1982	88,90	38	60,10	70	101,50	22,80	0,70	23	24,30	49,40	38,70	45,80	**563,20**	46,90
1983	5,60	15,10	19,10	20,80	20,80	6,10	13	28,30	0	22,80	24	24,50	**200,10**	16,70
1984	77,30	105,40	22,30	48,40	24,80	10,90	0,60	4,20	7,60	103,80	16,20	101,60	**523,10**	43,60
1985	46,80	19,40	88,80	40,80	57,50	0,90	16,80	0	39,10	35,10	29,60	36	**410,80**	34,20
1986	39,70	33,20	64,80	25,60	36,80	17,90	8,30	11,50	47,20	48,70	51,30	47,30	**432,30**	36
1987	22,30	71,70	15,60	12,70	44,20	8,80	29,40	8,80	5,40	29,10	39,60	32,40	**320**	26,70
1988	23,70	11,90	42	41,50	52,80	37,30	10,80	0	28,80	5,40	37,40	133	**424,60**	35,40
1989	23,70	34,30	25,20	60,40	52,20	72,70	12,30	24,10	47,90	24,40	11,60	14,20	**403**	33,60
1990	35,20	2,10	23,30	49,90	65,60	30,40	10,50	13,90	35,80	4,20	74,10	52,80	**397,80**	33,10
1991	6,50	39,90	56,50	28,30	80,50	11,50	9,80	3,20	26,60	88,60	29,30	20,50	**401,20**	33,40
1992	34,40	34,80	32,40	66,50	73,20	19,70	38	1,50	69,80	16,10	35,10	83,70	**505,20**	42,10
1993	26,40	41,50	28,50	12,50	62,80	1,50	0,70	18,60	28,40	4,30	54,50	40,20	**319,90**	26,70
1994	25,70	32	21,10	23,80	2,70	0	9,50	3,50	77,30	55	5,60	16,40	**272,60**	22,70
1995	94	25,70	63	41,90	3,70	61,80	0	3	44,50	37,10	22,30	25,40	**422,40**	35,20
1996	62	92,40	47,90	52,90	69,20	22,90	9,10	18,10	18,80	9,20	10,70	29,70	**442,90**	36,90
1997	32,40	7,70	4,50	37,30	20,30	20,80	10,50	26,20	84,50	45,10	69,40	43,70	**402,40**	33,50
1998	9,60	39,70	13,10	52	101,20	19,40	0,80	11,90	120	16,50	57,90	23,20	**465,30**	38,80
1999	65,30	15,90	19,40	8,40	4,30	25,40	0	4,90	85,50	50,10	23,40	81,90	**384,50**	32
2000	5,90	5,70	21,50	28,80	61,90	20,30	0	23,90	39,40	47,30	15,20	61,30	**331,20**	27,60
2001	79	20,10	8,60	13,20	19,30	0	0	4	47,20	14,40	37,10	8,40	**251,30**	20,90
2002	22,70	24	29,50	8,80	24,20	1,50	44,30	33,80	4,30	10,10	100,10	67,40	**370,70**	30,90
2003	115,80	29	37,60	63,20	43,80	59,40	13,70	22,40	30	69,50	14	86,50	**584,90**	48,70
2004	42,50	18,80	34,10	68,80	73,60	16,70	0,70	32,60	17,40	37,40	50,20	101,30	**494,10**	41,20
2005	28	39,80	18	50,60	2,20	35,90	20	8,70	26,90	22,70	68,70	52,30	**373,80**	31,20
2006	61,80	37	9,80	42,40	88	7,40	37,80	3,20	52	1	9,10	45	**394,50**	32,90
2007	10,20	25	101,80	88,60	28,20	30	7,60	1	79,50	25,30	16,50	6	**419,70**	35
2008	10	19,30	48,90	21,30	75,80	15,20	54,50	19,80	44,60	42,40	42,40	27	**421,20**	35,10
2009	69,30	41,30	27,50	77,50	3,40	6,80	4,70	18,40	78,60	13,10	28,80	33,60	**403**	33,60
2010	36,20	46,50	44,70	52,10	67,40	17,80	3	23,20	3,40	45,20	47,80	20	**407,30**	33,90
Moy	40,60	32,80	35,30	41	45,80	21,40	12,30	14,50	42,10	33,20	35,50	47,10	**401,60**	33,50

Tableau.A$_2$-02:Températures mensuelles durant la période 1981-2010 dans la station de Sétif.

Année	**Janvier**	**Fevrier**	**Mars**	**Avril**	**Mai**	**Juin**	**Juille**	**Aout**	**Sept**	**Octob**	**Nove**	**Décem**	Total	Moy
1981	3	5,30	11,50	12,70	17,20	22,20	23,10	23,40	20,30	16,90	9,60	7	**172,20**	14,40
1982	6,10	5,80	7,60	10,30	15,40	23,80	27,90	25,20	20,40	14,20	9	4	**169,70**	14,10
1983	5,50	5,10	8	13,10	16,60	22,20	27,30	25	21,20	15,30	11	5,90	**176,20**	14,70
1984	5,20	3,90	6,40	12,10	13,50	21,40	26,70	23,90	19,60	12,50	10,20	5,60	**161**	13,40
1985	2,90	9,60	6,10	12,40	14,40	23,60	27,50	25,10	20,20	14,50	10,40	6,50	**173,20**	14,40
1986	4,10	5,40	7,50	10	18,90	21,10	24,40	26,40	20,40	14,90	8,80	4,60	**166,50**	13,90
1987	4	5,30	7,80	13,40	14,80	22,20	25,70	27,30	23,40	17,80	8,60	8,40	**178,70**	14,90
1988	6,90	5,90	7,90	13	17,60	20,80	27,50	26,50	19,70	17,70	10,40	4,50	**178,40**	14,90
1989	5	6,40	10,40	10,10	16,60	19,60	25,20	25,80	20,60	15,40	11,70	9,40	**176,20**	14,70
1990	5,40	10,40	9,80	10,50	15,90	23,80	24,10	23,50	23,40	16,90	9,50	3,70	**176,90**	14,70
1991	4,80	4,40	9	8,80	12,10	20,60	25,70	25,30	21	14,10	8,80	4,60	**159,20**	13,30
1992	4,20	6	7,20	9,80	15,50	18,30	22,80	25,50	21,50	15	11,60	6,20	**163,60**	13,60
1993	5,10	4,40	7,30	11,20	16,50	23,30	26	26	19,90	16,40	9,30	6,60	**172**	14,30
1994	5,50	6,80	11,10	9,30	20,30	22,90	27,30	28,50	21	14,90	11,20	6,60	**185,40**	15,40
1995	3,80	8,50	7,70	10,20	17,60	21,20	26,20	24,20	19,20	15,70	10,10	7,80	**172,20**	14,30
1996	7,10	4,30	8,40	10,70	15,30	18,90	24,60	25,40	18,10	13,60	10,40	7,60	**164,40**	13,70
1997	6,60	8,90	9,20	11,90	19,20	24,50	25,80	24,50	19,90	15,20	9,70	6,70	**182,10**	15,20
1998	6,10	7,50	8,90	12,40	14,90	23,30	27	25,20	21,40	13,60	9,30	5,30	**174,90**	14,60
1999	6,20	4,20	8,80	13	21	24,50	25,50	28,60	21,90	18	8,70	5,70	**186,10**	15,50
2000	4,10	7,80	10,70	13,60	19,80	22,30	26,90	26,10	21,40	13,60	10,30	8	**184,60**	15,40
2001	5,90	5,80	13,30	12,10	16,60	24	27,50	26,70	21	19,90	9,30	5,50	**187,60**	15,60
2002	5,80	7,90	10,50	13	18,10	24,70	25,50	24,10	20,20	16,90	9,90	7	**183,60**	15,30
2003	4,60	3,90	9	12,70	17,10	24,30	28,50	26,60	20	16,40	10,20	5	**178,30**	14,90
2004	5,50	8,20	9,80	10,60	13,20	21,70	25,90	26,60	20,50	18,40	8,40	5,70	**174,50**	14,50
2005	3,50	2,80	9,80	12,20	19,70	23,20	27,60	24,50	19,90	16,40	9,50	4,70	**173,80**	14,50
2006	3,60	4,80	9,90	14,80	19,40	23,90	26,30	24,70	19,70	18,40	11,20	6,60	**183,30**	15,30
2007	7,70	7,60	7,60	11,90	16,50	23,60	26,40	26,20	20,40	15,40	8,60	5,30	**177,20**	14,80
2008	6,80	7,50	8,60	12,90	17,30	21,50	27,30	26,30	20,80	14,90	14,90	8,10	**186,90**	15,60
2009	5,10	4,60	8,60	9,20	18	23,60	28,70	26,20	19,40	15,10	11,20	7,90	**177,60**	14,80
2010	6,10	7,30	9,90	12,90	14,20	21,40	26,80	25,80	20,40	15,20	9,40	6,40	**175,80**	14,60
Moy	5,20	6,20	8,90	11,70	16,80	22,40	26,30	25,60	20,60	15,80	10	6,20	**175,70**	14,60

Tableau. A$_2$-03:Humidité moyenne mensuelle en% (station de Sétif, 1981-2010 d'après O.N.M)

Année	**Janvier**	**Fevrier**	**Mars**	**Avril**	**Mai**	**Juin**	**Juille**	**Aout**	**Sept**	**Octob**	**Nove**	**Décem**	Total	Moy

1981	77,30	77,70	71,50	68	58	48,40	46,90	47,70	62,40	55,50	66,20	80,10	**759,70**	63,30
1982	74,30	81,10	75,50	72,90	74,10	43,60	31,20	43	56,70	64,10	84,90	86,40	**787,80**	65,60
1983	68,20	76,50	77,10	63,70	59,20	44,90	31,90	44,30	53,60	72,10	82,70	80,20	**754,40**	62,90
1984	82	83,10	77,90	64,30	60,80	47,60	34,80	49,80	59,40	82,70	76,20	84,50	**803,10**	66,90
1985	85,10	71,70	82,90	68,80	72,30	51,70	36,10	40,10	57,20	69,40	74,10	78,20	**787,60**	65,60
1986	87,90	79,40	75,70	75,20	55,50	51,80	42,80	38,20	54,40	76,10	77	85,70	**799,70**	66,60
1987	75,40	81,30	73,70	66,80	66,30	53,40	50,80	37,50	48,70	54,60	81,10	80,70	**770,30**	64,20
1988	76	72,30	65	61	57,50	56	38	36,40	51,20	50,50	73,80	84,20	**721,90**	60,20
1989	73,70	70,50	64,20	72,50	56,10	52,50	40,60	41,90	61,20	69,60	68,80	74,40	**746**	62,20
1990	83,40	54,70	66,70	68,40	70,50	48,30	45,60	50,60	49,40	61,20	85	86,70	**770,50**	64,20
1991	76,90	81,40	75,90	74,30	69,30	55,10	42,50	37,60	58,70	71,50	71,80	76,80	**791,80**	66
1992	75,30	72	77,30	67,60	60,80	54,10	50,50	39,90	51,80	64,20	69,20	78,30	**761**	63,40
1993	68	82,50	70,90	62,10	61,70	44,80	38,50	39,60	55,70	55,40	78,20	77,20	**734,60**	61,20
1994	78,80	66,20	61	62,20	41,90	39,10	28,20	32,20	58,20	75,80	72,80	79	**695,40**	57,90
1995	85,40	72,40	69,90	60,70	49,40	52,90	35,20	44,50	59,20	62,80	64,90	81,30	**738,60**	61,50
1996	78,30	80,50	71,40	67,50	63,60	58,50	40,40	42	57,60	60,30	63,40	72,30	**755,80**	63
1997	74,70	64,20	55	58,20	45,50	39,70	37,80	46,60	63,10	72,70	81,70	79,20	**718,40**	59,90
1998	75,60	74,40	62,60	59,50	70,70	41,60	32,90	43,90	56,50	64,60	73,40	77,10	**732,80**	61,10
1999	77,80	79,20	66,60	54,40	42,50	40,20	38,40	33,20	54,40	60,10	77,30	81,90	**706**	58,80
2000	73,70	60,60	55,40	52,20	51,80	46,10	33,70	33,60	51,20	72,20	66,90	68,90	**666,30**	55,50
2001	75,30	68,30	54,60	59,40	57,50	34,60	31,20	37,10	61,80	56,90	77,80	79	**693,50**	57,80
2002	76,90	67,30	62,80	58,40	49,30	36,50	44,30	50,70	54,90	54,80	74,80	80,90	**711,60**	59,30
2003	82,50	83,50	72,10	71,20	62,60	47,20	36,60	43,30	63,30	72,50	76,80	82,50	**794,10**	66,20
2004	82,20	68	70,60	75,70	72,80	55,40	42,70	46,20	57,10	57,50	81,70	84,70	**794,60**	66,20
2005	77,90	80,10	67,50	66,50	48,70	48,20	41,50	47	62,70	71,70	76,70	84,10	**772,60**	64,40
2006	82,50	80,20	68,50	62,50	64,80	41	43,90	54,40	60,70	56,50	73,90	84,80	**773,70**	64,50
2007	71,70	77	78,30	75,90	64,50	47,90	41	45	63,40	71,80	76,70	80,10	**793,30**	66,10
2008	73,90	70,50	69,30	60,80	63,50	55,20	44,10	45,80	58,90	77,20	77,20	77,10	**773,50**	64,50
2009	83,60	76,80	70,80	74,60	55,70	44,70	38,20	46,80	69	68,10	66,70	77,70	**772,70**	64,40
2010	79,20	77,10	70,10	72,10	65,50	55,40	43,40	49,20	54	62,80	75,20	70,70	**774,70**	64,60
Moy	77,80	74,30	69,40	65,90	59,70	47,90	39,50	42,90	57,50	65,50	74,90	79,80	**755,10**	62,90

Tableau.A$_2$-04:Vitesse moyenne mensuelle du vent en m/s(station de Sétif 1981-2010 d'après O.N.M)

Année	**Janvier**	**Fevrier**	**Mars**	**Avril**	**Mai**	**Juin**	**Juille**	**Aout**	**Sept**	**Octob**	**Nove**	**Décem**	Total	Moy
1981	4,10	3,40	2,70	3,30	3,90	3,30	3,70	3,20	2,30	2,10	1,30	4	**37,30**	3,10
1982	2,50	2,80	3,70	3	2,90	3,20	3,40	3,50	2,80	3	3,50	3,30	**37,60**	3,10
1983	1,90	3,10	3,20	3,50	3	2,80	3,60	3,20	2,60	2,50	2,70	3,60	**35,70**	3
1984	3,20	3,90	3,70	3,20	4,60	3,40	2,80	3,30	2,90	2,90	3,50	2,80	**40,20**	3,30
1985	3,20	2,80	3,50	3,80	3,20	2,90	3,20	3,10	2,60	2,20	3,60	2,80	**36,90**	3,10
1986	4,10	5,10	3,40	4,10	3,10	3	3,20	3,10	2,40	2,70	2,70	2,80	**39,70**	3,30
1987	3,80	4,10	3,60	3,20	3,30	3,30	3,70	3,20	3	3	3,30	2,70	**40,20**	3,40
1988	3,90	3	4,30	3,70	3,70	3,70	3,40	3,10	2,80	2,30	2,60	2,70	**39,20**	3,30
1989	1,80	3,30	3,40	3,90	2,60	2,60	2,90	3	3,20	2	2,20	2,80	**33,70**	2,80
1990	2,90	2,40	2,90	3,50	3,10	3,10	2,90	2,20	2,60	2,60	3,20	3,30	**34,70**	2,90
1991	2,10	2,90	4,40	3,20	3,10	2,80	2,90	2,50	2,70	3	2,40	2,10	**34,10**	2,80
1992	1,90	1,80	3,50	4	2,90	3,10	2,20	2,40	2,40	2,70	2,40	2,60	**31,90**	2,70
1993	1,10	2,50	3,20	3,10	3	2,80	3,30	2,60	3	3,40	2,80	2,50	**33,30**	2,80
1994	3,50	3,70	2,80	3,90	3,50	3,40	2,80	2,80	3,40	2,10	1,90	2,10	**35,90**	3
1995	3,10	2,80	3,50	2,70	3,30	3,40	2,90	3	2,80	2	2,70	3,50	**35,70**	3
1996	3,20	4,20	2,80	3,20	2,60	2,60	2,80	3,30	3,20	2,90	3,40	3,80	**38**	3,20
1997	3	1,80	2,40	3	3	3,10	3	2,80	2,20	2,20	3,60	2,80	**32,90**	2,70
1998	2,40	2	0,30	3,50	3,10	2,60	2,50	2,80	2,50	1,90	2,60	2,40	**28,60**	2,40
1999	2,80	2,90	2,90	3,30	3,10	3,10	2,50	3,10	2,50	2,20	3	3	**34,40**	2,90
2000	1,30	2,40	2,40	3,60	2,90	2,60	2,80	2,30	2,40	2,50	2,90	2,90	**31**	2,60
2001	2,90	2,70	2,90	3	2,90	3	3,10	2,80	2,60	2,20	2,70	2,50	**33,30**	2,80
2002	2,20	2,70	3,30	4,30	3,60	3,40	3,40	3,40	3	2,90	4,10	3,10	**39,40**	3,30
2003	4,10	3,10	2,50	3,20	2,70	2,80	3,10	2,90	3	2,90	2,80	3,40	**36,50**	3
2004	2,80	3,10	3,30	3,20	3,70	2,70	3,10	3,20	2,50	2,20	2,50	2,80	**35,10**	2,90
2005	2,70	3,50	0,30	3,40	2,90	2,90	2,80	3,10	2,60	2,20	2,50	2,40	**31,30**	2,60
2006	0,30	2,80	3,50	3	2,80	0,40	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20	0,20	**14,40**	1,20
2007	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	2,50	2,20	**7,60**	0,60
2008	2,20	2,20	3,50	3,30	3,30	3,10	3	2,80	2,80	2,40	2,40	3,20	**34,20**	2,90
2009	3,40	3,40	3,20	3	2,60	2,70	2,70	3,10	2,40	2,30	2,30	3	**34,10**	2,80
2010	3,60	3,60	2,50	2,60	2,80	3	2,70	2,80	2,70	2,60	3,60	2,60	**35,10**	2,90
Moy	2,70	2,90	2,90	3,30	3	2,80	2,80	2,80	2,50	2,30	2,70	2,80	**33,50**	2,80

Tableau. A$_2$-05:Nombre de jours mensuel de Gelée (station de Sétif 1981-2010).

Année	**Janvier**	**Fevrier**	**Mars**	**Avril**	**Mai**	**Juin**	**Juille**	**Aout**	**Sept**	**Octob**	**Nove**	**Décem**	Total	Moy

1981	11	8	2	5	0	0	0	0	0	1	3	9	**39**	3,20
1982	5	13	8	1	0	0	0	0	0	2	5	14	**48**	4
1983	21	16	15	7	0	0	0	0	0	0	0	14	**73**	6,10
1984	11	8	11	3	2	0	0	0	0	0	4	9	**48**	4
1985	19	4	13	2	2	0	0	0	0	0	4	13	**57**	4,80
1986	15	9	3	5	0	0	0	0	0	0	1	12	**45**	3,80
1987	24	12	9	5	2	0	0	0	0	0	8	7	**67**	5,60
1988	8	15	12	3	0	0	0	0	0	0	5	17	**60**	5
1989	17	13	5	3	3	0	0	0	0	0	0	4	**45**	3,80
1990	13	7	4	3	0	0	0	0	0	0	6	17	**50**	4,20
1991	18	14	4	6	2	0	0	0	0	1	5	26	**76**	6,30
1992	19	19	10	6	2	0	0	0	0	1	1	10	**68**	5,70
1993	24	11	12	5	1	0	0	0	0	1	6	13	**73**	6,10
1994	10	15	5	8	0	0	0	0	0	0	6	22	**66**	5,50
1995	9	14	13	12	1	0	0	0	0	0	7	12	**68**	5,70
1996	12	14	12	8	1	0	0	0	0	0	7	7	**61**	5,10
1997	11	12	12	3	0	0	0	0	0	0	5	11	**54**	4,50
1998	18	17	19	4	0	0	0	0	0	0	4	17	**79**	6,60
1999	8	9	10	4	0	0	0	0	0	0	9	9	**49**	4,10
2000	26	11	5	3	0	0	0	0	0	0	5	10	**60**	5
2001	11	18	2	1	0	0	0	0	0	0	5	15	**52**	4,30
2002	19	10	3	0	0	0	0	0	0	0	2	4	**38**	3,20
2003	4	16	2	1	0	0	0	0	0	0	2	11	**36**	3
2004	11	14	6	3	0	0	0	0	0	0	5	8	**47**	3,90
2005	24	15	8	1	0	0	0	0	0	0	4	9	**61**	5,10
2006	15	15	4	0	0	0	0	0	0	0	0	10	**44**	3,70
2007	17	4	6	1	0	0	0	0	0	0	9	13	**50**	4,20
2008	19	10	5	4	0	0	0	0	0	1	1	7	**47**	3,90
2009	12	13	10	4	0	0	0	0	0	0	2	10	**51**	4,20
2010	13	6	7	0	0	0	0	0	0	0	3	14	**43**	3,60
Moy	14,80	12,10	7,90	3,70	0,50	0	0	0	0	0,20	4,10	11,80	**55,10**	4,60

Tableau. A_2-06:Nombre de jours mensuel de Sirocco (station de Sétif 1981-2010).

Année	**Janvier**	**Fevrier**	**Mars**	**Avril**	**Mai**	**Juin**	**Juille**	**Aout**	**Sept**	**Octob**	**Nove**	**Décem**	Total	Moy
1981	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
1982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
1983	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
1984	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
1986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
1987	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5	0	0	**10**	0,80
1988	0	0	0	0	4	0	0	0	0	5	0	0	**9**	0,80
1989	0	0	0	2	3	0	0	2	3	0	0	0	**10**	0,80
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	**2**	0,20
1991	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**1**	0,10
1992	0	0	0	3	3	3	0	0	1	0	0	0	**10**	0,80
1993	0	0	0	0	2	1	0	0	2	1	0	0	**6**	0,50
1994	0	0	0	2	6	1	0	3	0	0	0	0	**12**	1
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	**1**	0,10
1996	0	0	0	0	2	0	4	1	0	0	0	0	**7**	0,60
1997	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	**4**	0,30
1998	0	0	0	2	0	5	3	0	2	0	0	0	**12**	1
1999	0	0	0	2	1	5	2	6	0	0	0	0	**16**	1,30
2000	0	0	0	1	2	0	3	1	1	1	0	0	**9**	0,80
2001	0	0	0	0	4	1	2	0	0	0	0	0	**7**	0,60
2002	0	0	1	5	1	1	1	0	0	0	0	0	**9**	0,80
2003	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	0	0	**6**	0,50
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
2005	0	0	0	1	1	0	2	3	0	0	0	0	**7**	0,60
2006	0	0	0	0	0	13	0	2	0	1	0	0	**16**	1,30
2007	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	**9**	0,80
2008	0	0	0	0	0	1	3	2	0	0	0	0	**6**	0,50
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
2010	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	**2**	0,20
Moy	0	0	0,10	0,60	1	1,40	1	0,80	0,40	0,50	0	0	**5,80**	0,50

Tableau. A_2-07:Nombre de jours mensuel de Brouillard (station de Sétif 1981-2010).

Année	**Janvier**	**Fevrier**	**Mars**	**Avril**	**Mai**	**Juin**	**Juille**	**Aout**	**Sept**	**Octob**	**Nove**	**Décem**	Total	Moy

1981	2	2	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	**8**	0,70
1982	1	2	1	0	0	0	0	0	0	1	2	2	**9**	0,80
1983	3	0	0	1	0	0	0	0	0	4	2	2	**12**	1
1984	2	5	2	0	0	0	0	0	0	2	1	1	**13**	1,10
1985	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	2	**8**	0,70
1986	3	0	1	0	1	0	0	0	1	1	2	4	**13**	1,10
1987	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	4	5	**13**	1,10
1988	4	3	1	1	0	0	0	0	0	0	3	7	**19**	1,60
1989	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	**5**	0,40
1990	4	0	1	1	1	0	0	0	0	0	2	5	**14**	1,20
1991	0	3	0	0	0	1	0	0	0	1	2	2	**9**	0,80
1992	3	3	2	1	0	1	0	0	1	0	0	3	**14**	1,20
1993	2	1	1	2	0	0	0	0	0	1	2	2	**11**	0,90
1994	2	0	0	2	0	0	0	0	0	2	4	2	**12**	1
1995	2	4	0	0	0	2	0	0	0	0	1	7	**16**	1,30
1996	4	0	1	1	2	0	0	0	0	0	1	3	**12**	1
1997	1	3	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	**8**	0,70
1998	1	2	0	1	2	0	0	0	0	1	3	1	**11**	0,90
1999	2	4	1	0	0	0	0	0	0	1	4	7	**19**	1,60
2000	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**6**	0,50
2001	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	4	**7**	0,60
2002	4	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	**9**	0,80
2003	1	4	1	0	0	0	0	0	0	1	1	3	**11**	0,90
2004	2	2	1	0	0	0	0	0	0	3	4	3	**15**	1,20
2005	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	**7**	0,60
2006	1	2	0	1	1	0	0	0	0	0	1	3	**9**	0,80
2007	2	1	3	1	0	0	0	0	0	1	1	2	**11**	0,90
2008	2	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	**6**	0,50
2009	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	**4**	0,30
2010	3	2	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	**8**	0,70
Moy	2,13	1,70	0,67	0,50	0,40	0,10	0	0	0,10	0,80	1,60	2,50	**10,50**	0,90

Tableau. A_2-08:Nombre de jours mensuel de Grêle (station de Sétif 1981-2010).

Année	**Janvier**	**Fevrier**	**Mars**	**Avril**	**Mai**	**Juin**	**Juille**	**Aout**	**Sept**	**Octob**	**Nove**	**Décem**	Total	Moy
1981	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
1982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
1983	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**1**	0,10
1984	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
1986	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	**1**	0,10
1987	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
1988	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**2**	0,20
1989	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	**2**	0,20
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
1991	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
1992	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	**4**	0,30
1993	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	**2**	0,20
1994	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	**1**	0,10
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
1996	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**2**	0,20
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	**1**	0,10
1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	**1**	0,10
2000	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	**2**	0,20
2001	1	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	**4**	0,30
2002	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**1**	0,10
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
2004	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**1**	0,10
2005	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	**2**	0,20
2006	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	**3**	0,20
2007	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**1**	0,10
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
2009	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**1**	0,10
2010	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	**3**	0,20
Moy	0,10	0,20	0,20	0,30	0,10	0	0	0	0	0	0,10	0,10	**1,10**	0,10

Annexe.3:

Tableau. A_3-09:Les capacités moyennes mensuelles du barrage de Ain zada enregistré pendant la période (1988/2010 D'après l'ANBT)

mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Vol Mm^3
1988	87,10	87,80	90,40	86,80	87,30	87,30	87,50	86,90	86,30	84,70	82,60	80,30	86,79
88/89	79,10	77,50	77,20	85,80	91,60	87,40	101,00	104,50	104,70	105,40	103,60	101,30	92,53
89/90	100,70	99,60	98,80	98,20	98,20	97,60	97,10	96,70	98,40	97,10	95,20	95,30	97,96
90/91	94,10	92,90	94,80	96,90	98,80	101,80	108,00	111,00	111,20	114,50	110,60	106,60	103,15
91/92	104,60	105,20	104,60	104,40	104,80	105,10	105,50	113,70	116,50	116,40	114,40	110,40	108,65
92/93	107,50	105,30	104,30	106,30	117,90	124,10	124,90	123,70	122,40	118,80	113,20	108,30	115,31
93/94	104,90	101,70	100,50	100,00	99,20	100,40	98,80	96,30	92,80	88,80	84,40	80,00	97,07
94/95	80,50	88,80	86,90	84,90	99,20	106,60	116,80	117,30	114,50	112,40	107,00	102,30	101,35
95/96	100,10	98,40	96,10	94,70	94,70	101,70	108,90	109,40	111,60	110,80	106,00	101,20	102,95
96/97	97,70	95,30	93,20	92,40	91,40	89,80	87,10	84,40	81,40	77,40	73,30	69,70	87,58
97/98	68,30	66,10	65,30	65,90	65,00	65,20	64,60	63,40	65,90	63,20	59,50	55,70	64,76
98/99	64,10	62,20	62,50	66,20	74,30	88,70	92,10	90,80	87,60	84,10	80,00	75,50	77,51
99/00	77,80	75,80	73,90	75,50	74,70	72,80	70,60	68,10	74,70	71,60	67,50	63,50	73,00
00/01	62,30	60,20	57,70	57,00	57,60	60,60	58,70	56,20	53,70	50,30	46,60	43,00	56,45
01/02	43,70	40,80	38,50	36,10	34,00	32,20	30,60	28,90	27,00	25,30	23,80	23,10	32,81
02/03	21,30	19,70	23,60	41,90	74,30	101,40	107,70	125,30	124,60	123,10	118,90	116,40	80,16
03/04	115,50	116,30	114,20	119,20	125,60	125,00	124,60	124,80	125,10	123,20	119,00	115,20	121,14
04/05	109,19	106,46	106,04	107,82	122,43	123,35	121,97	121,86	119,70	116,45	112,94	108,66	115,29
05/06	105,73	103,17	103,27	105,22	109,29	117,23	119,81	118,57	121,29	118,01	113,48	109,08	112,28
06/07	110,46	107,19	104,29	103,57	101,95	100,64	105,01	113,05	114,14	111,21	107,19	102,15	107,15
07/08	102,66	99,64	97,96	96,49	94,94	92,93	93,60	94,65	93,60	90,02	87,54	84,57	94,91
08/09	82,71	82,89	82,18	82,53	98,75	108,34	116,56	121,74	119,92	116,23	111,64	107,29	102,14
09/10	105,11	102,35	100,74	99,84	99,44	98,65	99,84	99,05	97,37	95,42	90,77	86,99	98,96
Vol. Mm^3	88,05	86,75	85,96	87,29	91,97	95,17	97,45	98,71	98,45	96,28	92,57	88,98	92,30

Tableau. A_3-10 : Les volumes moyens mensuels et annuels des affluents positifs dans le Barrage de Ain Zada période (1988/2010 D'après l'ANBT).

Annee	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Affl +(Mm^3)
1992/1993	0,522	0,727	1,306	3,806	13,325	7,761	8,767	2,138	2,086	0,808	0,289	0,557	42,09
1993/1994	0,543	0,442	1,31	1,792	1,53	3,346	1,216	0,634	0,679	0,723	0,888	0,911	14,01
1994/1995	4,553	10,8	0,81	1,719	16,267	9,557	12,578	3,347	1,205	1,875	0,372	0,324	63,41
1995/1996	1,43	1,276	0,568	1,246	2,299	9,006	9,694	3,099	5,058	2,63	0,521	0,53	37,36
1996/1997	0,328	0,578	0,669	1,723	1,415	0,937	0,321	0,59	0,955	0,958	0,968	1,149	10,59
1997/1998	1,766	0,882	1,867	2,825	1,627	2,314	2,03	1,655	5,187	0,814	0,733	0,665	22,37
1998/1999	12,103	0,916	2,747	5,761	10,287	16,389	5,959	1,646	0,56	0,781	0,713	1,013	58,88
1999/2000	6,382	1,24	0,867	3,947	1,584	0,74	0,748	0,653	9,916	0,56	0,702	0,681	28,02
2000/2001	2,53	1,043	0,388	1,999	2,864	5,056	1,057	0,458	0,535	0,419	0,494	0,421	17,26
2001/2002	3,848	0,258	0,537	0,516	0,731	0,752	0,802	0,788	0,769	0,936	1,259	1,787	12,98
2002/2003	0,663	0,726	5,608	19,658	33,764	28,599	8,564	25,849	4,402	3,047	1,121	2,332	134,33
2003/2004	3,011	4,175	1,468	6,288	26,813	6,375	3,45	5,954	6,1	2,086	0,894	0,949	67,56
2004/2005	0,651	0,512	2,142	4,109	19,212	20,371	21,54	11,486	1,889	1,145	1,525	0,725	85,31
2005/2006	0,652	0,655	2,769	4,157	6,346	10,306	5,505	2,032	6,775	1,538	0,872	0,593	42,20
2006/2007	5,452	0,462	0,436	1,888	1,159	1,291	7,14	10,982	4,826	1,83	1,215	0,539	37,22
2007/2008	4,244	0,411	1,265	1,34	1,295	0,752	3,63	4,386	2,714	1,029	2,309	1,545	24,92
2008/2009	1,924	3,303	1,925	2,894	18,904	12,108	11,221	12,03	3,119	0,956	0,903	0,851	70,14
2009/2010	1,377	0,78	1,22	1,962	2,411	1,871	4,232	2,243	2,025	2,633	0,819	0,916	22,49
Affl(+)(Mm^3)	2,89	1,62	1,55	3,76	8,99	7,64	6,03	5,00	3,27	1,38	0,92	0,92	43,95

Tableau. A_3 - 11: L'évaporation moyenne mensuelle des eaux dans le Barrage de Ain Zada période (1988/2010 D'après l'ANBT).

mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Evap Mm^3)	Evap moy Mm^3)
92/93	1,489	0,803	0,358	0,228	0,203	0,27	0,546	1,011	1,463	2,292	2,438	2,211	13,312	**1,109**
93/94	1,336	1,041	0,383	0,179	0,245	0,437	0,719	0,914	1,8	2,115	2,469	2,391	14,029	**1,169**
94/95	1,296	0,521	0,33	0,177	0,133	0,462	0,627	0,98	1,556	1,736	2,404	1,967	12,189	**1,016**
95/96	1,419	0,752	0,563	0,361	0,32	2,28	0,72	0,797	1,004	1,182	2,244	2,18	13,822	**1,152**
96/97	1,288	0,689	0,462	0,405	0,276	0,939	0,615	0,759	1,315	1,948	1,874	1,72	12,29	**1,024**
97/98	0,869	0,431	0,239	1,164	0,129	0,187	0,424	0,601	0,755	1,288	1,66	1,415	9,162	**0,764**
98/99	1,05	0,46	0,257	0,108	0,24	0,224	0,55	0,994	1,437	1,785	1,828	2,334	11,267	**0,939**
99/00	1,399	0,788	0,328	0,181	0,152	0,324	0,599	0,795	1,093	1,444	1,879	1,632	10,614	**0,885**
00/01	1,058	0,384	0,344	0,197	0,197	0,266	0,65	0,612	0,846	1,255	1,423	1,257	8,489	**0,707**
01/02	0,804	0,55	0,199	0,093	0,115	0,184	0,323	0,471	0,646	0,818	0,846	0,669	5,718	**0,477**
02/03	0,454	0,32	0,187	0,113	0,142	0,229	0,615	0,841	1,344	2,033	2,569	2,191	11,038	**0,920**
03/04	1,364	0,858	0,412	0,172	0,243	0,526	0,788	0,781	0,948	1,595	2,43	1,964	12,081	**1,007**
04/05	1,275	0,909	0,278	0,201	0,201	0,298	0,773	0,913	1,689	2,085	2,481	2,188	13,291	**1,108**
05/06	1,113	0,697	0,361	0,178	0,184	0,299	0,835	1,167	1,346	2,434	2,372	1,933	12,919	**1,077**
06/07	1,172	1,177	0,436	0,187	0,265	0,351	0,528	0,723	1,286	2,104	2,304	2,117	12,65	**1,054**
07/08	1,226	0,761	0,329	0,154	0,242	0,382	0,571	0,935	1,119	1,517	1,972	1,698	10,906	**0,909**
08/09	1,023	0,508	0,324	0,163	0,186	0,333	0,636	0,769	1,307	2,03	2,478	2,066	11,823	**0,985**
09/10	0,951	0,693	0,373	0,259	0,284	0,386	0,628	0,739	1,019	1,48	1,968	1,555	10,335	0,861
Evap (Mm^3)	1,144	0,686	0,342	0,251	0,209	0,465	0,619	0,822	1,221	1,730	2,091	1,860	11,441	0,953

Tableau. A_3-12 : Les volumes moyennes mensuelles des eaux destinées à l'AEP de l'eau le Barrage de Ain Zada période (1988/2010 D'après l'ANBT).

mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	A.E.P(Mm^3)	A.E.P(Mm^3)
1992/1993	1,567	1,502	1,468	1,49	1,522	1,288	1,525	1,488	1,633	1,566	1,862	1,821	**18,732**	**1,561**
1993/1994	1,759	1,809	1,728	1,671	1,788	1,618	1,799	1,747	1,937	1,86	2,131	2,141	**21,988**	**1,832**
1994/1995	2,113	1,815	1,676	1,719	1,729	1,677	1,751	1,713	1,935	1,812	1,95	1,883	**21,773**	**1,814**
1995/1996	1,829	1,855	1,931	1,874	1,763	1,718	1,77	1,726	1,854	1,797	1,923	2,117	**22,157**	**1,846**
1996/1997	1,944	1,904	1,837	1,883	1,867	1,81	2,021	2,13	2,429	2,12	2,399	2,249	**24,593**	**2,049**
1997/1998	2,075	2,024	1,989	1,933	2,153	1,706	1,947	2,113	1,91	1,969	2,287	2,327	**24,433**	**2,036**
1998/1999	2,116	1,956	1,856	1,953	1,947	1,765	2,009	1,882	1,985	2,017	0,63	2,352	**22,468**	**1,872**
1999/2000	2,169	1,964	1,882	1,926	1,974	1,831	2,005	1,938	1,971	2,063	2,252	2,334	**24,309**	**2,026**
2000/2001	2,24	2,124	2,039	2,142	1,962	1,763	2,048	1,876	1,979	2,219	2,302	2,341	**25,035**	**2,086**
2001/2002	2,186	2,225	2,165	2,197	2,278	1,934	1,464	1,213	1,259	1,22	1,273	1,267	**20,681**	**1,723**
2002/2003	1,218	1,217	1,191	1,229	1,206	1,253	1,643	1,858	1,972	2,067	2,24	2,206	**19,3**	**1,608**
2003/2004	2,268	2,314	2,044	1,669	1,748	1,764	1,79	1,936	1,956	1,927	2,088	2,037	**23,541**	**1,962**
2004/2005	1,989	2,03	1,919	2,004	2,042	1,859	2,044	2,033	2,121	2,097	2,107	2,342	**24,587**	**2,049**
2005/2006	2,362	2,242	2,021	1,999	2,085	1,828	2,078	1,966	2,162	2,297	2,377	2,431	**25,848**	**2,154**
2006/2007	2,35	2,401	2,15	2,116	2,105	1,98	2,169	2,086	2,337	2,337	2,383	2,403	**26,817**	**2,235**
2007/2008	2,35	2,246	2,296	2,455	2,446	2,283	2,357	2,377	2,418	2,356	2,331	2,274	**28,189**	**2,349**
2008/2009	2,271	2,323	2,263	2,356	2,373	2,155	2,365	2,318	2,483	2,427	2,388	2,422	**28,144**	**2,345**
2009/2010	2,366	2,462	2,320	2,328	2,395	2,179	2,406	2,200	2,528	2,696	2,893	2,952	**29,725**	**2,477**
A.E.P(Mm^3)	2,065	2,023	1,932	1,941	1,966	1,801	1,955	1,922	2,048	2,047	1,970	1,970	**23,640**	**2,001**

Tableau. A_3-13 : Les hauteurs moyennes mensuelles de l'eau dans le Barrage de Ain Zada période (1988/2010 D'après l'ANBT).

Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	moyenne
1992/1993	853,40	853,19	853,09	853,29	854,40	854,96	855,03	854,93	854,81	854,48	853,96	853,48	854,09
1993/1994	853,15	852,22	852,70	852,62	852,56	852,69	852,52	852,26	851,89	851,44	850,94	850,42	852,12
1994/1995	850,48	851,44	851,23	851,00	852,57	853,32	854,30	854,34	854,08	853,88	853,36	852,88	852,74
1995/1996	852,66	852,48	852,24	852,09	852,09	852,82	853,54	853,59	853,80	853,73	853,26	852,77	852,92
1996/1997	852,41	852,15	851,93	851,84	851,73	851,56	851,25	850,96	850,59	850,11	849,60	849,13	851,11
1997/1998	848,95	848,65	848,55	848,62	848,50	848,53	848,45	848,28	848,63	848,25	847,72	847,15	848,36
1998/1999	848,38	848,11	848,15	848,66	849,72	851,43	851,81	851,67	851,31	850,91	850,42	849,88	850,04
1999/2000	850,16	849,91	849,67	849,87	849,77	849,53	849,25	848,92	849,78	849,38	848,84	848,30	849,45
2000/2001	848,12	847,82	847,46	847,35	847,45	847,89	847,61	847,24	846,85	846,31	845,68	845,06	847,07
2001/2002	845,18	844,65	844,21	843,74	843,29	842,90	842,55	842,15	841,70	841,27	840,89	840,69	842,77
2002/2003	840,18	839,71	840,82	844,85	849,72	852,79	853,42	855,06	855,01	854,87	854,49	854,26	849,60
2003/2004	854,18	854,25	854,12	854,52	855,09	855,04	855,01	855,02	855,05	854,88	854,50	854,15	854,65
2004/2005	853,89	853,63	853,59	853,76	855,09	855,17	855,05	855,04	854,85	854,56	854,24	854,84	854,48
2005/2006	853,56	853,31	853,32	853,51	853,90	854,63	854,86	854,75	854,99	854,70	854,29	853,88	854,14
2006/2007	854,01	853,70	853,42	853,35	853,19	853,06	853,49	854,25	854,35	854,08	853,70	853,21	853,65
2007/2008	853,26	852,96	852,79	852,64	852,48	852,27	852,34	852,45	852,34	851,96	851,69	851,36	852,38
2008/2009	851,15	851,17	851,09	851,13	852,87	853,81	854,57	855,03	854,87	854,54	854,12	853,71	853,17
2009/2010	853,50	853,23	853,07	852,98	852,94	852,86	852,98	852,90	852,73	852,53	852,04	851,89	852,80
moyenne	850,92	850,70	850,64	850,88	851,52	851,96	852,11	852,16	852,09	851,77	851,32	850,95	851,42

Annexe.4 :

Tableau. A_4-14 : Les paramètres physico-chimique (moyennes mensuelles)des eaux de la cuvettes du barrage de Ain zada période (1988 -2010) d'après Agence National des Ressources Hydrauliques (ANRH DE CONSTANTINE)

paramètres	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Moy	Ecarty	Val.max	Val.min
T(en C°)	24,04	20,21	15,53	10,26	8,50	9,28	11,10	15,00	19,40	22,45	25,53	25,56	17,24	2,53	30	3
PH	8,19	8,14	8,10	8,27	8,19	8,15	8,17	8,16	8,08	8,14	8,17	8,15	8,16	0.33	10	6.83
Cond.E(µS/cm)	1024,84	1013,81	1063,68	1042,63	1008,18	998,70	981,74	1042,50	1048,00	1078,57	1044,05	1026,25	1031,08	196.81	1530	700
Turbidité	2,65	3,00	3,94	2,89	3,65	4,18	3,19	2,83	2,96	2,26	3,00	2,84	3,12	2,83	16.8	0.3
Resid S(mg/l	727,29	703,08	709,13	743,85	727,44	693,47	696,33	730,35	753,06	768,24	702,50	701,29	721,33	113,03	1000	272
MES(mg/l)	72,81	74,27	90,73	87,92	79,44	92,11	71,76	70,47	59,88	83,50	77,63	51,25	75,98	63	414	2
O2 en %	90,13	82,93	74,98	72,67	76,62	87,93	79,57	83,32	83,23	90,86	95,62	93,44	84,28	16,92	130.6	9.3
ALC (mg/l)	104,18	112,92	128,88	120,31	138,20	147,00	132,66	140,87	146,17	126,79	110,88	111,37	126,69	17.50	185.2	72.5
Ca (mg/l)	65,96	63,74	76,06	72,31	75,02	73,14	73,60	73,74	73,21	79,54	66,28	64,71	71,44	16,34	176	26
Mg (mg/l)	34,68	32,14	35,37	34,47	28,82	33,43	27,91	30,35	31,50	30,33	35,39	35,81	32,52	15,79	140	7
Na (mg/l)	113,44	106,55	107,56	108,59	99,97	94,95	100,45	105,66	102,54	105,81	104,17	103,81	104,46	30,45	200.2	18
K(mg/l)	5,53	7,48	7,16	8,95	7,23	8,04	8,26	7,40	6,35	6,10	7,61	4,67	7,06	5.40	30	0
Cl (mg/l)	171,79	162,38	165,95	172,42	159,73	143,35	154,87	162,00	165,00	167,38	164,00	150,67	161,63	50.62	315	30
SO_4(mg/l)	167,32	160,10	155,08	154,32	163,36	175,74	157,13	161,30	160,00	162,86	167,33	188,13	164,39	40.76	380	30
HCO_3(mg/l)	146,59	155,06	168,12	163,16	166,02	177,67	171,33	180,06	182,33	179,77	148,74	136,29	164,59	26,65	237.9	79.3
M.Org (mg/l)	10,44	9,62	10,68	10,35	10,05	8,85	9,24	9,51	9,58	9,55	10,22	11,31	9,95	3.00	31	1.6
NO_2(mg/l)	0,01	0,03	0,04	0,08	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,04	0,02	0,04	0.07	0.85	0
NO_3(mg/l)	2,07	2,45	2,29	2,02	3,59	5,64	5,19	3,79	3,01	1,65	3,38	2,02	3,09	3.53	24	0
NH_4(mg/l)	0,07	0,13	0,16	0,16	0,19	0,18	0,17	0,14	0,16	0,06	0,09	0,03	0,13	0.23	1.4	0
DBO_5 (mg/l)	3,52	4,49	4,75	3,63	5,09	3,36	3,47	3,62	2,83	4,00	3,91	4,36	3,92	2.13	13	0.2
DCO(mg/l)	40,27	50,17	49,61	50,14	46,16	41,78	48,26	48,69	51,62	42,56	53,85	53,64	48,06	20.58	109	10
PO_4(mg/l)	0,17	0,14	0,16	0,13	0,19	0,25	0,20	0,18	0,28	0,20	0,15	0,18	0,20	0.19	1.1	0
Fe(mg/l)	0,47	0,17	0,17	0,13	0,03	0,30	0,27	0,29	0,31	0,22	0,47	0,18	0,251	0.38	2.2	0
Mn(mg/l)	0,02	0,08	0,08	0,05	0,06	0,06	0,06	0,11	0,11	0,10	0,10	0,11	0,08	0.087	0.56	0
Cu(mg/l)	0,103	0,012	0,032	0,005	0,002	0,016	0,021	0,016	0,029	0,009	0,007	0,008	0,022	0.04	0.6	0
Zn(mg/l)	0,022	0,004	0,042	0,000	0,008	0,013	0,040	0,038	0,042	0,006	0,027	0,0512	0,025	0,044	0.271	0

Tableau. A_4-15 : Les paramètres physico-chimique (moyennes annuelles)des eaux de la cuvettes du barrage de Ain zada période (1988-2010) d'après Agence National des Ressources Hydrauliques (ANRH DE CONSTANTINE)

Para-mètres	T(en C°)	PH	Cond electri (µS/cm	Turbidit	Resid Sec mg/	MES (en mg/l)	O2 en %	ALC en mg/l)	Ca mg/l	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO_4 (mg/l)	HCO_3 (mg/l)	Ma. Org mg/l	NO_2 mg/l	NO_3 mg/l	NH_4 mg/l	PO_4 mg/l	DBO5 mg/l	DCO mg/l	Fe(en mg/l)	Mn mg/l	Cu(en mg/l)	Zn(en mg/l)
88	16,3	8,28	820,0	7,27	600,33	143,00	81,05	130,50	80,00	30,33	70,67	15,00	132,50	154,00	182,03	8,38	0,03	7,50	0,25	0,04	5,00	20,33				
88/89	16,7	8,37	854,5	3,66	705,64	57,64	87,86	130,50	84,73	24,00	76,82	7,27	106,36	164,73	166,71	9,93	0,04	4,00	0,12	0,03	3,29	30,55				
89/90	17,6	8,30	837,5	2,18	681,50	50,25	89,95	130,50	64,00	25,75	83,25	7,63	121,25	159,25	144,89	7,67	0,01	1,88	0,06	0,00	2,86	39,33				
90/91	17,1	8,28	867,7	1,81	690,67	35,78	90,48	130,50	59,33	32,89	82,67	6,89	145,00	154,67	153,18	9,27	0,03	0,75	0,01	0,16	3,84	47,12				
91/92	15,5	8,29	954,5	1,80	722,67	27,91	78,31	130,50	70,60	21,45	114,18	11,64	149,09	147,82	170,72	8,35	0,07	2,92	0,07	0,27	3,84	31,64				
92/93	15,1	8,27	900,0	2,20	707,27	16,00	76,03	130,50	71,20	24,10	89,60	13,90	134,50	137,80	175,07	9,95	0,01	1,25	0,03	0,15	3,84	57,27				
93/94	14,4	8,44	920,0	1,68	672,00	34,00	73,51	130,50	71,40	23,10	96,40	18,70	154,50	153,80	155,55	8,85	0,01	3,30	0,05	0,24	3,84	54,40				
94/95	15,3	8,18	887,5	1,60	710,02	75,63	89,81	130,50	67,50	31,75	91,25	11,13	137,50	172,75	147,19	7,96	0,01	4,00	0,13	0,18	3,84	59,13				
95/96	15,7	8,43	940,0	1,88	710,02	75,63	69,51	130,50	69,40	33,20	98,60	9,30	149,70	156,80	162,26	9,14	0,01	3,90	0,05	0,27	3,84	43,50				
96/97	17,2	8,40	1033,3	1,52	710,02	75,63	75,42	130,50	72,44	30,33	110,89	11,00	179,11	123,78	201,28	11,20	0,00	0,78	0,01	0,13	3,84	56,11				
97/98	17,0	8,33	1154,5	2,27	787,56	108,75	78,11	130,50	71,64	33,00	123,09	7,18	182,27	168,36	179,69	10,13	0,01	1,36	0,20	0,31	3,33	62,00				
98/99	17,6	8,19	1066,7	1,95	691,50	108,33	83,50	130,50	82,67	22,08	108,67	4,33	155,50	166,83	173,92	11,26	0,02	2,25	0,03	0,33	3,16	57,67				
99/00	18,3	8,05	1075,0	2,84	714,00	98,67	77,98	130,50	76,00	27,17	103,58	4,50	160,42	165,33	174,00	9,95	0,01	4,42	0,03	0,23	3,68	53,00				
00/01	17,9	8,11	1066,7	2,57	702,55	75,00	76,53	130,50	68,67	35,17	102,58	5,17	145,83	186,00	176,50	9,02	0,01	6,42	0,14	0,14	3,24	45,17	0,83	0,03	0,000	0,000
01/02	16,9	8,36	1070,0	2,64	693,00	84,33	72,96	130,50	42,80	66,18	99,00	4,90	165,00	162,00	165,40	12,13	0,00	6,40	0,04	0,31	2,97	45,57	0,79	0,20	0,134	0,124
02/03	17,3	8,19	900,0	6,42	607,40	103,33	90,08	130,50	70,50	54,50	78,08	6,50	121,25	146,42	165,25	9,74	0,13	7,91	0,05	0,25	3,58	40,61	0,65	0,17	0,025	0,080
03/04	17,4	8,00	811,1	0,90	556,57	125,00	83,12	130,50	79,33	23,22	60,33	2,44	90,00	147,78	181,56	6,69	0,11	3,22	0,08	0,35	2,90	32,94	0,35	0,06	0,045	0,042
04/05	17,6	7,78	950,0	5,27	616,73	87,82	88,25	144,26	61,83	31,92	90,42	3,58	143,75	160,83	149,47	9,79	0,05	3,75	0,18	0,14	4,06	47,83	0,06	0,06	0,028	0,023
05/06	17,1	8,09	999,8	3,88	700,18	58,73	92,44	124,01	69,33	30,58	102,60	4,67	158,33	157,17	164,73	11,95	0,02	2,27	0,19	0,11	4,33	41,08	0,13	0,09	0,023	0,012
06/07	17,2	8,00	1135,0	4,00	724,50	124,17	84,99	121,29	68,83	33,67	120,06	6,33	194,42	163,33	150,84	10,84	0,03	1,03	0,17	0,16	4,57	45,96	0,05	0,06	0,005	0,013
07/08	17,7	7,99	1325,0	4,27	839,83	68,83	106,35	123,88	76,49	33,25	149,55	3,33	244,58	171,95	155,98	10,41	0,10	1,58	0,56	0,11	3,93	55,92	0,08	0,03	0,001	0,004
08/09	16,8	7,84	1394,2	8,79	896,00	56,73	99,37	127,83	82,14	34,67	152,11	1,83	240,83	240,18	159,62	10,79	0,10	2,29	0,19	0,15	4,21	54,53	0,04	0,04	0,002	0,001
09/10	16,4	7,81	1354,3	1,46	890,50	48,40	81,91	132,70	85,23	33,90	152,40	5,10	252,00	192,80	159,21	10,51	0,08	1,21	0,31	0,18	6,38	62,17	0,21	0,06	0,010	0,020
moyenne	16,78	8,17	1013,8	3,17	710,02	75,63	83,81	130,50	71,57	32,01	102,47	7,49	159,29	163,23	165,87	9,73	0,04	3,23	0,13	0,18	3,84	47,12	0,32	0,08	0,027	0,032